



T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hakan ULUSOY**

**FARKLI ENB ORANLARI VE OBSH  
PHR'LARINDA EPDM KAUCUĞUNUN  
REOLOJİK VE MEKANİK ANALİZİ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE – 2023**

**T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI ENB ORANLARI VE OBSH PHR'LARINDA  
EPDM KAUCUĞUNUN REOLOJİK VE MEKANİK  
ANALİZİ**



**Hakan ULUSOY**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE**

## TEZ ONAYI

### FARKLI ENB ORANLARI VE OBSH PHR'LARINDA EPDM KAUCUĞUNUN REOLOJİK VE MEKANİK ANALİZİ

Hakan ULUSOY tarafından Doç. Dr. Feridun DEMİR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Feridun DEMİR .....  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

**Üye:** Prof. Dr. Ünsal AÇIKEL Birinci ÜYE .....  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Aybüke LEBA İkinci ÜYE .....  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE .....  
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2022-PT2-040

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Hakan ULUSOY



## ÖZET

### FARKLI ENB ORANLARI VE OBSH PHR'LARINDA EPDM KAUCUĞUNUN REOLOJİK VE MEKANİK ANALİZİ

Hakan ULUSOY  
Yüksek Lisans, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Feridun DEMİR

Ocak 2023, 71 sayfa

Bu çalışmada EPDM kauçuğunun farklı ENB oranlarında ve OBSH phr'larında reolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla iki farklı ENB oranlarında EPDM kauçuğu ile on üç farklı OBSH phr'ın da toplam 26 farklı formülasyon hazırlanıp vulkanizasyon sonrası analizleri yapılmıştır. Reometre analiz sonuçları MH değerinin ENB ve OBSH phr oranının artışı ile azaldığını göstermiştir. ML değeri EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça OBSH şişirici ajanının phr'ına bağlı olmaksızın azalmıştır. TS2 ve T90 değerleri ENB oranının artması ile azalmış, ancak OBSH şişirici ajanının artmasıyla artmıştır. Gerilme direncinin EPDM kauçuklardaki ENB oranından bağımsız bir şekilde doğrudan OBSH kimyasalına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Kopma uzama yüzdesi EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça azalmış, ancak OBSH phr'ı arttıkça artmıştır. Sertlik ise hem düşük hem de yüksek ENB oranındaki EPDM kauçuğunun OBSH şişirici ajanının phr'ının artması ile azalmıştır. Viskozimetrik analiz sonucunda EPDM kauçuğunun içerisindeki ENB oranı ve OBSH şişirici ajan miktarı arttıkça oluşturulan karışımın mooney viskozitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Kalıcı ezilme ENB oranı arttıkça azalmış, ancak OBSH phr'ı arttıkça artmıştır. Hacim değişiminin ENB oranı arttıkça azaldığı, fakat OBSH miktarı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Yoğunluk değişimi farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle ENB oranı arttıkça arttığı, ancak OBSH miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** OBSH, EPDM, ENB, Kauçuk

## ABSTRACT

### REOLOGICAL AND MECHANICAL ANALYSIS OF EPDM RUBBER AT DIFFERENT ENB RATIOS AND OBSH PHRS

Hakan ULUSOY  
M.Sc., Department of Chemical Engineering  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Feridun DEMİR

January 2023, 71 pages

In this study, the rheological and mechanical properties of EPDM rubber at different ENB ratios and OBSH phr's were investigated. For this purpose, a total of 26 different formulations of EPDM rubber in two different ENB ratios and thirteen different OBSH phr's were prepared and analyzed after vulcanization. Rheometer analysis results showed that the MH value decreased with the increase of ENB and OBSH phr ratio. The ML value decreased as the ENB ratio increased in EPDM rubbers, regardless of the phr of the OBSH blowing agent. TS2 and T90 values decreased with increasing ENB ratio, but increased with increasing OBSH blowing agent. It has been observed that the tensile strength is directly dependent on the OBSH chemical, independent of the ENB ratio in EPDM rubbers. The percent elongation at break decreased as the ENB ratio increased in EPDM rubbers, but increased as the OBSH phr increased. The stiffness, on the other hand, decreased with increasing phr of OBSH blowing agent of EPDM rubber with both low and high ENB content. As a result of the viscosimetric analysis, it was observed that the Mooney viscosity of the mixture formed increased as the ENB ratio and the amount of OBSH blowing agent in the EPDM rubber increased. Permanent crush decreased as the ENB ratio increased, but increased as OBSH phr increased. It was observed that the volume change decreased as the ENB ratio increased, but increased as the OBSH amount increased. It was observed that the density variation increased as the ENB ratio increased with the effect of the OBSH blowing agent at different phr of EPDM rubber at different ENB ratios, but decreased as the OBSH amount increased.

**Keywords:** OBSH, EPDM, ENB, Rubber



Çok kıymetli aileme...

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Feridun DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Akademik hayatımın devamı için beni motive eden sevgili Linda MBALE'ye, tezimin laboratuvar çalışmalarındaki desteği için Pelin ÖKDEM arkadaşıma, ayrıca çalışmalarım süresince beni destekleyen sevgili kardeşim Nazan ULUSOY'a teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3.MALZEME VE YÖNTEM.....	11
3.1.Malzeme.....	11
3.1.1.Dolgu Malzemeleri.....	11
3.1.2.Aktivatörler.....	12
3.1.3.Proses Yardımcıları.....	13
3.1.4.Hızlandırıcılar.....	14
3.1.5.Piştiriciler.....	15
3.1.6.Vulkanizasyon Geciktirici.....	15
3.1.7.Nem Önleyici.....	15
3.1.8.Şişirici Ajan.....	15
3.2.Yöntem.....	16
3.2.1.Proses Cihazları.....	16
3.2.2.Laboratuvar cihazları.....	22
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
4.1.Reometre (Rheometer) Analizi.....	28
4.1.1.Dutral TER 4049.....	28
4.1.2.Dutral TER 9049.....	31
4.1.3.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının reometre analizlerinin karşılaştırılması.....	33

4.2.Gerilme Direnci (Tensile strength) ve Kopma Uzaması (Elongation at break)	
Analizleri.....	36
4.2.1.Dutral TER 4049 .....	36
4.2.2.Dutral TER 9049 .....	36
4.2.3.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının gerilme direnci analizlerinin karşılaştırılması .....	39
4.3.Sertlik (Hardness) Analizi.....	40
4.3.1.Dutral TER 4049 .....	41
4.3.2.Dutral TER 9049 .....	41
4.3.3.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının sertlik analizlerinin karşılaştırılması .....	42
4.4.Viskozimetrik (Mooney viscosity) Analiz .....	43
4.4.1.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının viskozimetrik analizlerinin karşılaştırılması .....	44
4.5.Kalıcı Ezilme (Compression set) Analizi:.....	44
4.5.1.Dutral TER 4049 .....	44
4.5.2.Dutral TER 9049 .....	45
4.5.3.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının kalıcı ezilme analizlerinin karşılaştırılması .....	46
4.6.Hacim Değişimi (Change of volume) Analizi .....	46
4.6.1.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının hacim değişimi analizlerinin karşılaştırılması .....	46
4.7.Yoğunluk Değişimi (Change of density) Analizi.....	47
4.7.1.Dutral TER 4049 .....	47
4.7.2.Dutral TER 9049 .....	48
4.7.3.Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının yoğunluk değişimi analizlerinin karşılaştırılması .....	49
5.SONUÇ VE ÖNERİLER .....	51
KAYNAKLAR .....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. EPDM kauçuğunun teknik özellikleri.....	3
Çizelge 1. 2. Önemli kimyasal şişirici ajanları ve bunların temel özellikleri, ayırışma sıcaklığı ve ayırışma sırasında açığa çıkan gaz hacmi (Göpperl, 2018 ).....	7
Çizelge 3. 1. Deneyleerde kullanılan EPDM kauçukların teknik özellikleri.....	11
Çizelge 3. 2. Kullanılan Karbon FEF N550 teknik özellikleri.....	12
Çizelge 3. 3. Masterbatch formülasyonu .....	16
Çizelge 3. 4. OBSH ve ENB fraksiyonlarındaki genel numune formülasyonları .....	21
Çizelge 4. 1. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun reolojik test sonuçları .....	28
Çizelge 4. 2. Farklı OBS phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun reolojik test sonuçları .....	31
Çizelge 4. 3. Farklı OBS phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun reolojik test sonuçları .....	40
Çizelge 4. 4. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun reolojik test sonuçları .....	43
Çizelge 5. 1. EPDM kauçuklarda ENB oranı değişiminin yapılan analizlerdeki sonuçları .....	52
Çizelge 5. 2. OBSH şişirici ajanının düşük ENB ve yüksek ENB oranlarında artmasının yapılan analizlerdeki sonuçları.....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Etildien norbornenin yapısı.....	2
Şekil 1. 2. Etilen propilen dien kauçuğunun yapısı.....	2
Şekil 1. 3. Köpük genişmesi sırasında kabarcık dinamiği.....	5
Şekil 1. 4. OBSH'nin moleküler yapısı ve ayrışma reaksiyonları (Göpperl, 2018 ) .....	6
Şekil 3. 1. Dispersiyonlu yoğurma makinesi (Kneader) .....	17
Şekil 3. 2. Açık mil .....	18
Şekil 3. 3. Karışım prosesi masterbatch akış diyagramı .....	19
Şekil 3. 4. Karışım prosesi son aşama akış diyagramı .....	20
Şekil 3. 5. Viskozimetre .....	22
Şekil 3. 6. Rheometre .....	23
Şekil 3. 7. Çekme-uzama test makinası .....	24
Şekil 3. 8. Dijital Yoğunluk Ölçüm Aleti .....	25
Şekil 3. 9. Etüv .....	26
Şekil 3. 10. Hassa Terazî Aleti.....	26
Şekil 3. 11. Shoremetre .....	27
Şekil 4. 1. OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun MH (lb-in) analiz sonuçları. ....	29
Şekil 4. 2. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun ML (lb-in) analiz sonuçları.....	30
Şekil 4. 3. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun T90 (min/s) analiz sonuçları .....	30
Şekil 4. 4. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun MH (lb-in) analiz sonuçları .....	32
Şekil 4. 5. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun ML (lb-in) analiz sonuçları.....	32
Şekil 4. 6. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun T90 (min/s) analiz sonuçları .....	33
Şekil 4. 7. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun MH/dN.m birleşik analizi .....	34

Şekil 4. 8. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun ML/dN.m birleşik analizi.....	34
Şekil 4. 9. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun TS2/(m:s) birleşik analizi.....	35
Şekil 4. 10. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun Ts90/(m:s) birleşik analizi .....	35
Şekil 4. 11. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun gerilme direnci (MPa) analiz sonuçları .....	36
Şekil 4. 12. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun kopma uzaması (%) analiz sonuçları.....	37
Şekil 4. 13. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun gerilme direnci (MPa) analiz sonuçları .....	38
Şekil 4. 14. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun uzama kopma (%) analiz sonuçları.....	38
Şekil 4. 15. Farklı OBSH phr'lar da ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun gerilme direnci (Mpa) birleşik analizi .....	39
Şekil 4. 16. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun uzama kopma (%) birleşik analizi .....	40
Şekil 4. 17. Farklı OBSH phr'larında Dutral TER 4049 (ENB 4.5) formülasyonun sertlik analizi.....	41
Şekil 4. 18. Farklı OBSH Dutral TER 9049 (ENB 9.5) formülasyonun sertlik analizi .....	42
Şekil 4. 19. Farklı OBSH phr'lar da ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun sertlik (IRHD) birleşik analizi .....	43
Şekil 4. 20. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun viskozimetrik birleşik analizi.....	44
Şekil 4. 21. Farklı OBSH Dutral TER 4049 (ENB 4.5) formülasyonun kalıcı ezilme analizi .....	45
Şekil 4. 22. Farklı OBSH Dutral TER 9049 (ENB 9.5) formülasyonun kalıcı ezilme analizi .....	45
Şekil 4. 23. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun kauçuklarının kalıcı ezilme analizlerinin karşılaştırılması .....	46

Şekil 4. 24. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun Karışımlarının hacim değişimi analizlerinin karşılaştırılması .....	47
Şekil 4. 25. Farklı OBSH Dutral TER 4049 (ENB 4.5) formülasyonun yoğunluk değişimi analizi .....	48
Şekil 4. 26. Farklı OBSH Dutral TER 9049 (ENB 9.5) formülasyonun yoğunluk değişimi analizi .....	49
Şekil 4. 27. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun Karışımlarının yoğunluk değişimi analizlerinin karşılaştırılması .....	50



## SİMGELER VE KISALTMALAR

ADC	Azodikarbonamid
BR	Bütadien kauçuk
CBS	N-cyclohexyl -2- benzothiazole sulfenamide
CR	Kloropren kauçuk (polikloropren)
DNPT	Di nitroso pentametilen tetramin
EPDM	Etilen-propilen-dien
EPM	Etilen-propilen kauçuklar
FEF	Fine extraction furniture
OBSH	4,4-oksibis benzen sülfonil hidrazid
MBT	Mercaptobenzothiazole
NBR	Nitril kauçuk
NR	Doğal kauçuk
PE	Polietilen
PEG	Poli etilen glikol
PVC	Poli(vinil klorür)
SBR	Stiren-bütadien kauçuk
TMTD	Tetramethylthiuram disulfide
PVI	N-(Cyclohexylthio)phthalimide
TPR	Thermo plastic rubber
ENB	Etiliden norbornen
PHR	Parts per hundred parts of rubber

## 1. GİRİŞ

Polimer kimyasında risk/fayda analizi kapsamında en çok kullanılan polimer alt birimi elastomerler ve kauçuklardır. Yüksek maliyetli endüstriyel parça, kaplama, ses, ısı ve darbe yalıtımları, mukavemet gerektiren inşaat yapılarında bunlarla birlikte spesifik özellikler eklenmesi gereken yüksek teknolojik ve aşırı ortam şartlarına uygun olması beklenen materyallerin üretiminde/geliştirilmesinde kullanılan değerli bir malzemedir. Bu indikatörlere uygun karışımlar oluşturmak polimer bilimciler için bir sanat dalı olarak görülmektedir.

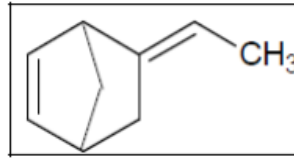
Kauçuk çapraz bağlanma gerçekleşmemiş ancak belirli koşullar altında çapraz bağlanma özelliği kazanan, kimyasal geri dönüşümü olmayan bir maddedir. Kimya biliminin polimerler dalının elastomerler birimine bağlı ve bu alan altında incelenen bölümünü kapsar. Kauçuklar doğal olarak *hevea brasiliensis* ağaçlarının latexinden ve laboratuvar şartlarında sentetik şekilde oluşturulabilirler. Bu alana hizmet eden sentetik kauçuklar her yeni gün mevcut sentetik kauçukların revizyonunun yanı sıra özel amaçlara hizmet edebilecek ve endüstrileşmeye katkıda bulunacak çeşitleri geliştirilmektedir.

Kullanım alanı bakımından gıdadan uzaya kadar geniş kullanım alanı içerisinde olan kauçuklar arasında, günümüzde düşük yoğunluğu, ses yalıtımı özelliği, düşük viskoz sıvılar üzerindeki yüksek emiciliği gibi özellikleri ile sünger kauçukların üretimine ve kullanımına devam edilmektedir. Kauçuk çeşitleri arasında: ozon dayanımı, UV dayanımı, hava şartlarına karşı mükemmel dayanımı, düşük sıcaklıklarda işlenebilirlik, kimyasal direnç ve elektrik izolasyon özelliği ile EPDM kauçuğu ön plana çıkmaktadır (Vergnaud ve Rosca, 2008)

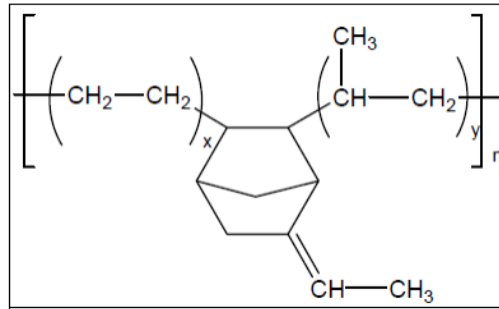
Etilen propilen terimi iki farklı yapıda kauçuğu ifade etmektedir. Kopolimer EPM (etilen propilen) ticari olarak ilk kez 1961 yılında üretilmiştir. Kükürtle pişirilebilen terpolimer EPDM (etilen propilen dien) üretimi ise 1963 yılında gerçekleşmiştir (Patil ve Sandewicz, 2013). Kopolimer EPM, amorf ve tamamen doymuş yapıdadır. Bu yapı koordinasyon katalizörlerinin varlığında, etilen ve propilenin kopolimerizasyonu sonucu elde edilir. EPM organik peroksitlerle çapraz bağ

oluşturur. Diğer polimerler ile karışma özelliği yoktur. Tamamen doymuş bir yapıdır ve zincirde çift bağ yoktur.

Terpolimer EPDM, etilen ve propilenin yanı sıra bir dienin reaksiyona katılması ile meydana gelmektedir. Dienin reaksiyona katılması ile zincirde çift bağ yani doymamışlık oluşmaktadır. Bu durum peroksitlerin yanı sıra kükürt ile vulkanizasyona ve diğer polimerler ile karıştırılmaya da olanak vermektedir. Kullanılan üç tip dien vardır; 1,4-hekzadien, disiklopentadien ve etilidien norbornen (ENB). ENB'nin yapısı Şekil 1.1'de, Etilen propilen dien kauçuğunun yapısı Şekil 1.2'de gösterilmiştir. En iyi mekanik özellikler, ENB içeren EPDM ile kazanılmaktadır.



Şekil 1. 1. Etilidien norbornenin yapısı



Şekil 1. 2. Etilen propilen dien kauçuğunun yapısı

EPDM amorf bir yapı gösterdiğinden düşük sıcaklıklarda elastikiyetleri çok iyidir. EPDM ürünlerinin düşük sıcaklıktaki performanslarını arttırmak için polimerin düşük miktarda etilen içermesi gerekmektedir. Yüksek kopma mukavemeti değerlerine ulaşmak için ise yüksek etilen içeren tipleri seçmek gerekir. Isı dayanıklılığını arttırmak için düşük molekül ağırlığında ve yüksek etilen içeren tipler

tercih edilmelidir (Groch vd., 2020). EPDM kauçuğunun teknik özellikleri Çizelge 1.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 1. 1. EPDM kauçuğunun teknik özellikleri

Özellikler	Değer aralığı
Mooney Viskozite, ML 1+4 @125°C	5-200+
Etilen İçeriği, wt. %	45 ila 80 wt. %
Diene İçeriği, wt. %	0 ila 15 wt. %
Özgül Ağırlık, gm/ml	0.855-0.88 (polimere bağlı olarak kompozisyon)
Uzunluk (µm)	10-35
Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0.3
Gerçek yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.4
Özgül yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	510
Kül içeriği (wt.%)	1.5
Elektriksel iletkenlik (S/cm)	98
Üretim metodu	Kimyasal buhar ayrışması (CVD)
Sertlik, Shore A Durometre	30A - 95A
Çekme Dayanımı, MPa	7 ila 21
Uzama, %	100 ila 600
Sıkıştırma Seti B, %	20 ila 60
Kullanılabilir Sıcaklık Aralığı, °C	-50 ila +160
Yırtılmaya dayanıklı	Ortadan İyiye
Aşınma direnci	İyiden Mükemmele
Dayanıklılık	Ortadan İyiye (geniş sıcaklık aralıklarında kararlı)
Elektriksel Özellikler	Harika

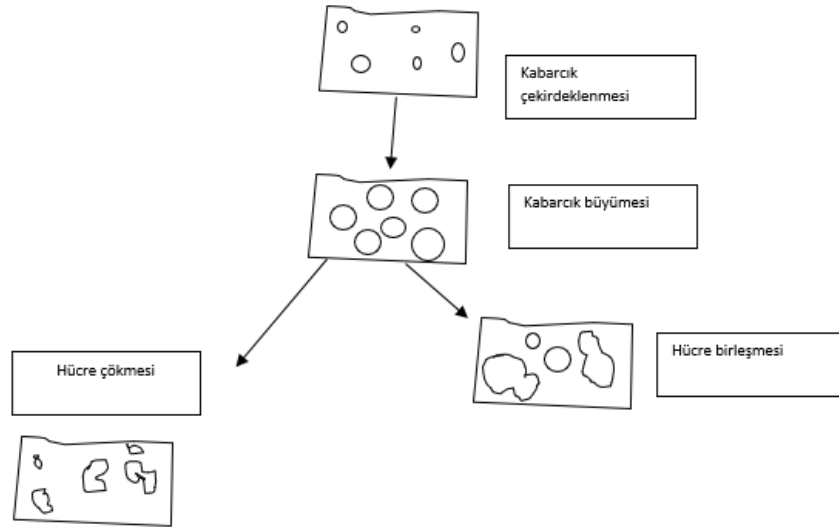
Uluslararası Sentetik Kauçuk Üreticileri Enstitüsü. (Source: International Institute of Synthetic Rubber Producers)

EPM ve EPDM elastomerler 30 yılı aşkın bir süredir mevcut olmasına rağmen, bu ürünlerin hem üretimleri hem de uygulamaları için teknoloji hala geliştirme aşamasındadır (Chanda, 2013; Dodiuk ve Goodman, 2014). 150'den fazla EPDM elastomer sınıfı için bileşimler, %40-90 mol etilen ve %0-4 mol dien aralığındadır (Sommer, 2014).

Vulkanizasyon sistemlerinde mükemmel aktiviteyi sağlamak için kopolimerizasyon boyunca çifte bağın oluşturulmasının uzun zaman almasından dolayı pahalı bir termonomer türüdür. Termonomerin nadir görülen bir yapı özelliği de dallanmış ve lineer olarak sentezlenebilmesidir. Dallanmış yapı bu tür polimerler için önemli bir jeolojik özelliktir. ENB hızlı pişme ve yüksek çapraz bağlanma yoğunluğu gösterir. ENB yapısında her 1000 atomuna karşılık 4-16 arası çifte bağ bulundurulur ve en çok tercih edilen EPDM türüdür (Güneri, 2007). Ayrıca dien içeriği ne kadar yüksek olursa, çapraz bağ yoğunluğu da o kadar yüksek olur (Kornberg, 1960). Dien miktarı yaklaşık %1 mol'dür veya 5-etiliden-2-norbornen (ENB) ya da disiklopentadiendir (DCPD). (Travers, 1976).

Şişirme ajanı, bir sıvıyı köpüğe dönüştürmede yararlı olan, yüzey gerilimini azaltan bir kimyasaldır. Şişirici madde, yüzey aktif madde veya şişirme maddesi gibi köpük oluşumunu kolaylaştıran bir malzemedir. Şişirme ajanları çok sık olarak, sadece şişirici ajan(lar)ı değil, aynı zamanda ürün tasarımcısı tarafından seçilen performans kriterlerine ulaşmak için gereken tüm yardımcı ajanları da içeren çeşitli bileşenlerin karışımlarıdır. Etkinleştiriciler, azodikarbonamidler, çapraz bağlayıcılar, dinitroso pentametilen tetraminler, gazlar, hidrazidler, hidrokarbonlar, hidrokloroflorokarbon, hidroflorokarbonlar, metil formatları, mikroskobik ajanlar, nükleer ajanlar, peroksidikarbonat, peroksiheksanoat, propionitril, özel karbonik ve polikarbonik asitlerin tuzları, sodyum hidrojen bikarbonat, sülfonilsemikarbazidler, sürfaktan, tetrazoller ve su, şişirici ajanlara örnektirler (Nakajima, 2000).

Şekil 1.3 köpük genişmesi sırasında bir kabarcık dinamiğinin şematik yorumunu göstermektedir. İlk büyüme burada küresel kabarcıklarla ilişkilidir. Genişlediklerinde (eklenen veya üretilen gazın miktarına bağlı olarak) matris içindeki boşluğun çoğunu doldurmaya başlarlar ve duvarları daha ince ve daha kırılğan hale gelir. Bir noktada genişlemenin sonucunda, kabarcıkların duvarları o kadar ince ve gergin hale gelir ki, bunlar kırılabilirler. Bu, köpürmenin derecesine (karışımdaki mevcut gaz miktarı) ve aynı zamanda polimerin eriyik mukavemetine bağlıdır.



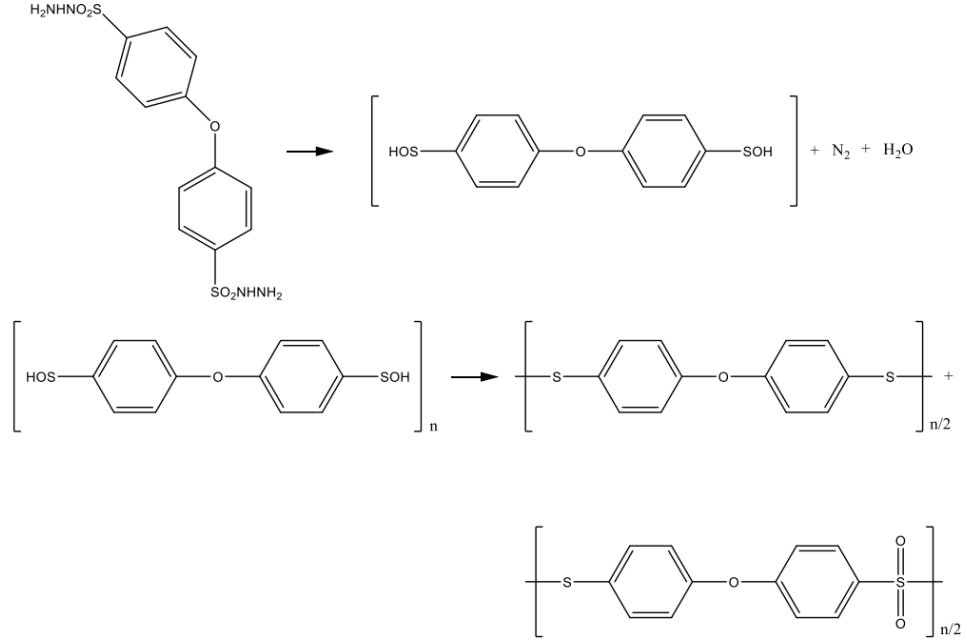
Şekil 1. 3. Köpük genişmesi sırasında kabarcık dinamiği

Kapalı hücreler, inert gazların kauçuk veya plastik bir matriste ayrı kabarcıklar olarak tutulmasıyla oluşturulan, birbirine bağlı olmayan hücreler ağıdır. Şişirme ve kütleme sistemlerinin uygun dengesi ile kapalı hücreler elde edilir. Bu sistemler, şişirici maddenin ayrışması ilerledikçe oluşan gazı kapsüllemek için yeterli jelin geliştirileceği şekilde düzenlenir.

Köpüğün yoğunluğu ve hücre boyutu, şişirme ve kütleme sistemlerinin reaksiyon hızlarının dengelenmesiyle kontrol edilir. Kür, gazların salınmasından çok önce ilerlerse, genişleme sınırlanacak ve yüksek yoğunluklu bir ürün oluşacaktır. Şişirici maddenin erken ayrışması genellikle hücre duvarlarının yırtılmasıyla sonuçlanır. Bu durumun sonucunda kabarmış bir yüzeye sahip yüksek yoğunluklu bir malzemeden, açık hücre yapısı kümeleri ve çökmüş bir cilt yüzeyine sahip düşük yoğunluklu bir süngere kadar değişebilir. Kapalı hücreli süngerin başlıca uygulamaları şunları içerir: yük taşımayan contalar, esnek ve şok emici formlarda atletik dolgu, yüzdürme ve yalıtım malzemesi, otomotiv hava sızdırmazlığı, hava ve toz contaları için presle kalıplanmış kapalı hücre levhaları.

4,4'-oksibis benzen sülfonil hidrazid (OBSH) verimli, renk değiştirmeyen, leke bırakmayan, toksik olmayan ve kokusuz nitrojen tipi bir şişirme maddesidir. OBSH esas olarak düşük sıcaklıkta işlemede kullanılır ve gaz verimi nispeten düşük

olmasına rağmen 160°C civarında ayrışır. Kauçuk endüstrisinde kullanılan şişirici ajanlar, kabloların köpüklü yalıtımında kullanılan polar olmayan oligomerlerdir. Hücresel elastomerlerin üretimindeki kullanılan son teknolojik kimyasal şişirme maddelerinden biridir. Bunlar, belirli bir sıcaklıkta çapraz bağlanma reaksiyonuna paralel olarak ayrışır ve böylece elastomerde bir köpük yapısı oluşturur. Şekil 1.4'te OBSH şişirici ajanının moleküler yapısı ve ayrışma reaksiyonları görülmektedir.



Şekil 1. 4. OBSH'nin moleküler yapısı ve ayrışma reaksiyonları (Göpperl, 2018 )

OBSH şişirici ajanı ADC şişirici ajanından daha düşük bir bozunma sıcaklığına sahip olduğu için kauçuk endüstrisinde şişirme maddesi olarak en çok kullanılan ikinci şişirici ajan olarak kullanılır. Yaygın olarak kullanılan şişirici ajanların ayrışma sıcaklığı ve gaz hacmi kıyaslaması Çizelge 1.2'de gösterilmiştir.

Köpüklü/hücresel malzeme profil uygulamalarının sadece küçük bir bölümünü temsil etse de, üretimi EPDM uygulama mühendisliğinin önemli bir parçasıdır. OBSH, aminler, asitler ve bazı stearatlar ve vinil stabilizatörleri de dahil olmak üzere çok sayıda bileşik tarafından aktive edilir ve böylece bozunma sıcaklığını yaklaşık 125°C'ye kadar düşürür. Aktivasyonun OBSH'nin ayrışması üzerindeki etkisi, çeşitli konsantrasyonlarda ve sıcaklıklarda elde edilen gaz oluşumu verileriyle gösterilebilir.

Karışıma eklenen şişirici maddenin miktarı yoğunluk, köpük yapısı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Köpük yapısı da kalıp basıncından etkilenir.

Çizelge 1. 2. Önemli kimyasal şişirici ajanları ve bunların temel özellikleri, ayrışma sıcaklığı ve ayrışma sırasında açığa çıkan gaz hacmi (Göpperl, 2018 )

Şişirici ajanlar	Reaksiyon	Ayrışma sıcaklığı (°C)	Gaz hacmi (ml/g)
Azo (ADC)	Ekzotermik	220	220
OBSH	Ekzotermik	160	125
TSH	Ekzotermik	145	110
BSH	Ekzotermik	140	110
TSS	Ekzotermik	230	120
5PT	Ekzotermik	240	175
NaHCO <sub>3</sub>	Ekzotermik	135-190	120
Sitrik asit türevleri	Ekzotermik	190-220	120

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

OBSH şişirici ajanı üzerine, yayınlanan az miktarda deneysel çalışma mevcuttur. OBSH şişirici ajanının EPDM ile konfigürasyonu halen araştırmaya ve geliştirmeye açık durumdadır. EPR-b-OBSH'nin daha fazla sayıda hücre yapısı, daha yüksek gözeneklilik ve köpük yüzeyinde su penetrasyonuna karşı dirençli EPDM köpüğü verdiğini bulmuşlardır. Bununla birlikte, EPR-b-OBSH ajanlı EPDM, uzun süreli sıkıştırma yüklemesinden sonra hücre yapılarının deformasyonu nedeniyle OBSH ile karşılaştırıldığında daha kötü elastik toparlanmaya sahip olduğunu görmüşlerdir (Yamsaengsung ve Sombatsompop, 2009). EPR-b-OBSH'nin daha fazla sayıda daha tek biçimli hücre ile genişletilmiş EPDM katmanı verdiğini bulunmuştur. EPR-b-OBSH şişirme maddesinin maksimum soyulma mukavemetini elde etmek ve ahşap/NR-eEPD laminatın termal iletkenliğini düşürmek için optimum konsantrasyon 3,0 phr olarak bulunmuş (Yamsaengsung vd., 2008), kauçuk şişirici ajan olan AC/OBSH, daha fazla hücre gözenekliliği, daha düzgün ve daha iyi hücre dağılımları ile kloropren köpüğü üretebildiğinden, saf AC'den daha etkili olduğu bulunmuştur. AC/OBSH ile hazırlanan CR köpüğü, saf AC'den daha iyi gerilme mukavemetine ve yırtılma mukavemetine sahip, ancak daha yüksek Shore C sertliğine sahip olduğu bulunmuştur (Yamsaengsung vd., 2008).

Polietilen glikol (PEG) ile modifiye edilmiş çinko oksit (ZnO), kütleme ve köpük sürecini aynı anda hızlandırabilir. PEG içeriği arttırıldığında CR köpüğü daha büyük şişme oranına, daha küçük hücre boyutuna ve daha iyi yumuşaklığa sahip olduğu bulunmuştur (Yi vd., 2012), EPDM derecesinin, şişirici ajan tipinin, EPDM harmanının bileşiminin ve işleme koşullarının hücre yapısını ve sonuçtaki EPDM köpüklerinin fiziksel özelliklerini etkilediği bulunmuştur. ADC'nin bozunma sıcaklığı hem DNPT hem de OBSH harmanlaması ile azalmış ve bu da sonuçta ortaya çıkan EPDM köpük yapısını ve özelliklerini etkilemiştir. Ayrıca NR/EPDM ekstrüdatın sıcak hava fırınında vulkanize edilmesi için alternatif bir teknik olarak bir ekstrüdat için bir tüp kalıbının kullanılmasının, genleşme ve köpük boyutlarını kontrol etmekte başarılı olduğu bulunmuştur.

NR bileşimlerinin de köpük yapısını ve özelliklerini etkilediği bulunmuştur (Lewis vd., 2003), NR köpüğün sertlik açısından mekanik özellikleri, OBSH içeriğinin artmasıyla kademeli olarak azaldığı gözlemlenmiştir (Pechurai vd., 2013). Bir köpüğün sıkıştırma davranışının öncelikle bağıl yoğunluk tarafından belirlendiği, ancak sıkıştırma davranışının özellikle çökme bölgesinde gözenek boyutu dağılımına da bağlı olduğunu bulunmuştur. Çökme bölgesinde, sıkıştırıcı stres-gerinim eğrileri, hücresel yapıların heterojenliklerine açık bir bağımlılık göstermiştir. Daha geniş hücre dağılımı, çökme bölgesindeki stresin daha güçlü gerinim bağımlılığı ile sonuçlanmıştır. TGA sonuçları, çeşitli önceden sertleştirilmiş derecelere sahip BR/SBR/NR köpüklerin, önceden sertleştirilmemiş olmayan köpüklerden daha iyi termal stabilite elde ettiğini göstermiştir. Polimerik köpüklerin yüksek yoğunluğu, çekme mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve kopma uzaması gibi yüksek mekanik özellikler sergilemiştir.

TGA sonuçları, çeşitli ön kürlenme derecelerine sahip BR/SBR/NR köpüklerin, ön kürlenmemiş köpüklerden daha iyi termal kararlılık elde ettiğini göstermiştir. Polimerik köpüklerin yüksek yoğunluğu, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve kopma uzaması gibi yüksek mekanik özellikler sergilediği gözlemlenmiştir (Wang, vb, 2013), kombine mikrodalga fırın prosesi tekniği, geleneksel ısıtma tekniğinin daha yavaş prosedüründen farklı olarak, suyla şişirilmiş açık hücreli doğal kauçuk köpüğünün nem difüzyonu sürecini iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca, doğal kauçuk köpüğün fiziksel özellikleri ve mikro yapısı, geleneksel ısıtma tekniğine göre geliştirilmiştir.

Tüm eşzamanlı kombinelerde mikrodalga fırın tekniği, yoğunluk artışı, hücre dağılımı, gözenek gevşekliği ve düzgün hücreler nedeniyle deneyden değerlendirilen teknikler arasında en iyisi olduğu bulunmuş (Ariff ve Afolabi, 2020), bio-EPDM köpüğün mekanik ve elastik özellikleri, artan kapsüllenmiş şişirici ajan miktarı ile azaldığı, termal kararlılık ve tuzlu su direnci, kapsüllenmiş şişirici maddenin artan karıştırma oranı ile önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür.

Karışık şişirme ajanları kullanılarak hazırlanan bio-EPDM köpüğün mekanik özellikleri ve tuzlu su direnci, tek bir şişirme maddesi kullanılarak hazırlanan köpüğe

göre daha iyi olduğu bulunmuştur (Sang vd., 2019). Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)/p, p-oksibis (benzensülfonilhidrazid) (OBSH) sistemi, sabit sıcaklıkta bir görselleştirme aparatı ile köpürtme işlemi sırasında hücre büyümesini araştırmak için uygulanmıştır. Köpürme işlemi için mekanizmaların görsel olarak anlaşılması sağlanmıştır. (Wu vd., 2017).

Bu çalışmada, sünger kauçuk ürünleri yapımında şişirici ajan olarak kullanılan ve literatürde üzerine yapılan araştırmaların azlığı ile dikkat çeken, çalışma sıcaklığı ve şişirme performansı açısından en çok kullanılan ikinci şişirici ajan olan OBSH kimyasalının performansını incelemek, farklı ENB oranlarında reolojik ve mekanik analizi hakkında bilim dünyasına kullanılabilir veri sağlamak amacıyla, farklı phr'larda OBSH ve farklı ENB oranlarında EPDM kauçuklarından yapılan 26 formülasyon Desing Expert programı ile istatistiksel olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Malzeme

Elastomer köpük üretirken Versalis eni firmasından temin edilen Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 sentetik kauçukları, OMSK firmasından temin edilen Karbon (FEF N 550), Alkim firmasından temin edilen Pro1500 parafinik yağ, Mertaş firmasından temin edilen MRT 3 Kalsiyum karbonat (kalsit), Melos firmasından temin edilen Aktif Çinko (Monte Carlo), Evyap-Oleo firmasından temin edilen 1618 RG Stearik asit, RheinChemie Additives firmasından temin edilen Aflux42, Lotte Chemical firmasından temin edilen PEG4000, VIBIPLAST firmasından temin edilen (MBT 80 GE F140), (CBS 80 GE F140, TMTD 80 GE F140, Kükürt(S) 80 GE F140, PVI80 GE F140), Kettlitz Firmasından temin edilen Kezadol ve Azointernational Oü firmasından temin edilen OBSH kullanılmıştır.

Kauçuk hamuru üretimi için kullanılan sentetik kauçukların özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1.Deneylerde kullanılan EPDM kauçukların teknik özellikleri

ENB	Dien içeriği ENB (%)	Etilen içeriği	Mooney (ML 1+4 125 °C) (MU)	Yağ parafinik (phr)	Kül içeriği (% ağırlık)	Uçucu içerik (% ağırlık)
Dutral TER 4049	4.5	70	76	-	0.3	0.5
Dutral TER 9049	9.5	71	90	-	0.3	0.5

Product Catalogue Business Line EP(D)M Elastomers / EP(D)M / Dutral® CO (Copolymers)  
technical data sheet

#### 3.1.1. Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri olarak kullanılan Karbon FEF N550’nin teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Kullanılan diğer dolgu malzemeleri ve içerikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Kullanılan Karbon FEF N550 teknik özellikleri

Karbon FEF N550	Teknik Özellikleri
İyot adsorpsiyonu	44,6 g/kg
Yağ absorpsiyonu	122,6 ml/100g
STSA yüzey alanı	38,3 m <sup>2</sup> /g
Ph	8,73
Isıtma kaybı	125 °C de %0,2
Kül içeriği	%0,3-%0,4
Kükürt içeriği	%0,54
Dökme yoğunluğu	346 kg/m <sup>3</sup>
Pelet sertliği ortalama	28,8 cN
Birey sertliği	-48,9 cN

#### Kalsiyum Karbonat (CaCO<sub>3</sub>):

- Kimyasal özellikleri: CaO 54,25%, MgO 0,43%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,01%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,005%, SiO<sub>2</sub> 0,02%, CO<sub>2</sub> 44,14%, Kızdırma Kaybı 43,11%, CaCO<sub>3</sub> 99,55%,
- Fiziksel özellikleri: Sertlik (hardness by Moh's) 3, Mohs Özgül Ağırlık (density) 2,7 g/cm<sup>3</sup>, Beyazlık (whiteness) 99,1, Parlaklık (brightness) 97,5, pH değeri (pH value) 8,7, Nem (moisture content) 0,3%, Yağ emme (oil absorption) 16%, Dop emme (dop absorption) 21% (\*Merttaş mikronize teknik özellikler dökümanı).

#### Parafinik yağ PRO 1500:

- Viskozite 40 °C 100,3 mm<sup>2</sup>/s, K. viskozite 100 °C 10,87 mm<sup>2</sup>/s, Parlama noktası 254 °C, Akma noktası -9°C, Yoğunluk 0,8879 g/cm<sup>3</sup> (\*Alkim PRO 1500 technical data sheet).

### 3.1.2. Aktivatörler

#### Aktif Çinko Oksit:

- Aktif Çinko Oksit kauçuk hamurunda çinko oksit katı tanecikler halinde dağılır. Bu tanecikler yalnızca yüzeyi ile çevresindeki kimyasallarla tepkimeye girebilir. Bu yüzden çinko oksitin reaksiyon yeteneğini kütlesi değil yüzeyi belirler. Vulkanizasyon aktivatörü olarak kullanılır.

- Teknik özellikleri: Nem oranı 105 °C, Kaba yoğunluk 0,50 ± 0,10 gr/cm<sup>3</sup> , Elek analizi 200 Mesh, Aktif madde oranı Min % 99,80, Yüzey alanı 40,00 - 45,00 m<sup>2</sup>/gr, pH 20,0 °C'de 7,20 ± 0,10, Pb Max. 10 ppm, Cd Max. 10 ppm, Cu Max. 10 ppm (\*Melos ZnO technical data sheet).

Stearik asit:

- CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COOH formülüyle gösterilen doymuş bir yağ asididir. Bu ürün kauçuk işlemede bir aktivatör, hızlandırıcı, dahili yağlayıcı, kalıp ayırıcı ve yüzey yağlayıcı olarak tavsiye edilir.
- Teknik özellikleri: Asit değeri 200,5 (mg KOH/g) mg/g, Sabunlaşma değeri 201,7 (mg KOH/g) mg/g (\*Evyapoleo technical data sheet).

### 3.1.3. Proses Yardımcıları

Aflux42:

- Dolgu maddeleri ve kauçuk kimyasallar için mükemmel bir dispersiyon ajanı görevi görür. Kurlenmemiş bileşiklerin plastisitesini artırır ve akışı iyileştirir.
- Özellikleri: Profillerin çıktısı ve ekstrüzyon hızı artar. Aflux 42, ekstrüdatlara ve perdahlanmış folyolara pürüzsüz yüzeyler kazandırır. Vulkanizat özellikleri pratikte Aflux 42'den etkilenmez.
- Teknik özellikleri: Yoğunluk 20 °C'de 0,90 g/cm<sup>3</sup>, erime noktası 80-100 °C (\*Rhein Chemie technical data sheet)

PEG4000:

- Poli etilen glikol (PEG) 4000, silika ve kil dolgu maddeleri ile karıştırılırken kullanılan etkili bir aktivatördür. PEG 4000, çeşitli mineral pigmentlerin neden olduğu geciktirici etkinin üstesinden gelerek hem kür oranını hem de kurlenme durumunu iyileştirir. Ek olarak, polarite EPDM'nin mikrodalgada kurlenmesini destekler. PEG 4000, siyah olmayan dolgu maddeleri kullanan her tür polimerde kullanıma uygundur. PEG-4000, kauçuk endüstrisi için kalıp ayırıcı ve yağlayıcı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Suda çözünebildikleri için kolaylıkla sürülebilir ve çıkarılabilirler. Ayrıca belirli

farmasötik ürünler için hap ve tablet üreticileri için bağlayıcı ve kuru yağlayıcı olarak kullanılırlar.

- Teknik özellikleri: pH 5-7, erime noktası 56-58 °C, ilk kaynama noktası ve kaynama aralığı >300 °C, parlama noktası >250 °C, buhar basıncı <0,01 hPa (20 °C), dinamik viskozite 80 CPS (100 °C) (\*Lotte chemical technical data sheet).

#### 3.1.4. Hızlandırıcılar

MBT 80 GE F140:

- Erime noktası 170-175 °C, parlama noktası 252 °C, yoğunluk 1525 kg/m<sup>3</sup>, sudaki çözünürlük 0,118 kg/m<sup>3</sup> (22 °C), birim hacim ağırlığı 480-520 kg/m<sup>3</sup>, toplam kükürt içeriği %19,5 (\*Vibiplast technical data sheet).

CBS 80 GE F140:

- CBS, NR, SBR, BR, NBR ve diğer Kükürt/Kükürt bağışçısı ile kürlenmiş kauçuklar için uygun gecikmeli eyleme sahip birincil ultra hızlı hızlandırıcıdır. Oldukça uzun bir kavurma süresi ve mükemmel işleme güvenliği sağlar. CBS, düşük kükürt vulkanizasyonu için tek hızlandırıcı olarak veya Dithiocarbammate veya Thiurams hızlandırıcılarla kombinasyon halinde kullanılır. Vulkanizatlar, iyi yaşlanma direnci ve iyi bir sıkıştırma seti sağlar. Thiourea, özellikle az kükürt içeren karışımlarda, CBS üzerinde güçlü bir ikincil hızlandırma etkisine sahiptir.
- Teknik özellikleri: Yoğunluk 1,10 g/cm<sup>3</sup>, vizkositesi ≤36 (ML 1+4 80 °C), toplam kükürt içeriği %19,5 (\*Vibiplast technical data sheet).

TMTD 80 GE F140:

- TMTD, doğal ve sentetik kauçukların vulkanizasyonu için ultra hızlandırıcı ve kükürtle sertleştirilmiş elastomerlerin çoğunda kükürt vericidir. Hızlı vulkanizasyon sunar ve kükürtsüz vulkanizasyon sistemlerinde ve EV sistemlerinde kullanıldığında iyi ısıl yaşlanma ve sıkıştırma seti direnci ile mükemmel bir vulkanizasyon platosu sağlar. Siyah olmayan vulkanizatlarda leke bırakmaz ve mükemmel renkler elde edilir. TMTD, EPDM için değerli

bir ikincil hızlandırıcıdır. CR'nin tiyoüre ile vulkanizasyonunda geciktirici olarak kullanılabilir.

- Teknik özellikleri: Yoğunluğu  $1,20 \text{ g/cm}^3$ , vizkositesi  $\leq 50$ , toplam kükürt içeriği %40,5 (\*Vibiplast technical data sheet).

### 3.1.5. Pişiriciler

Kükürt (S 80 GE F140):

- Kükürt, tüm doğal ve sentetik kauçuklar için kütle maddesi olarak kullanılır.
- Teknik özellikleri: Yoğunluğu  $1,52 \text{ g/cm}^3$ , vizkositesi  $\leq 50$ , toplam kükürt içeriği %80,5 (\*Vibiplast technical data sheet).

### 3.1.6. Vulkanizasyon Geciktirici

PVI 80 GE F140:

- Vulkanizasyon geciktiricisi olarak kullanılır.
- Teknik özellikleri: Yoğunluğu  $1,13 \text{ g/cm}^3$ , vizkositesi 21,08, toplam kükürt içeriği %9,7 (\*Vibiplast technical data sheet).

### 3.1.7. Nem Önleyici

Kezadol:

- Kül içeriği %84,2, CaO içeriği %84 (\*kettlitz kezadol technical data sheet).

### 3.1.8. Şişirici Ajan

OBSH:

- OBSH, olağanüstü leke bırakmayan, renk değiştirmeyen hem hücresel kauçuk hem de plastik üretimi için toksik olmayan, kokusuz, nitrojen salan şişirme maddesidir. EPDM, PE, PVC, EPOXY, TPR ve FENOLİK reçineler şu anda OBSH ile ticari ölçekte genişletilmektedir. Sentetik kauçuk ve termoplastikler, NBR-PVC karışımına dayalı ısı yalıtım malzemelerinin

üretiminde de kullanılabilir. OBSH, termal ayrışma ile amonyaksız gaz üretir, bu da mahzen kablo izolasyonunda kullanımı güvenli hale getirir. OBSH'nin bozunma sıcaklığı, geleneksel kütleme sıcaklığı aralığı olan OBSH ile iyi uyum sağlar, bu nedenle, aktivatörsüz geleneksel kütleme sıcaklığında iyi şişirme verimliliği sağlar. Ayrıca, OBSH'nin kauçuğun kürlenmesine veya PVC'nin stabilitesine hiçbir etkisi yoktur. Ürün Adı: P, P'-Oxybis Benzen Sulfonyl Hydrazide, Görünüm: ince beyaz toz

- Teknik özellikleri: Ayrışma sıcaklığı 150-164°C, Gaz hacmi  $124 \pm 6$  (ml/g), Parçacık boyutu (Ortalama) 6-10 micron, Nem: maksimum %0,5, pH: 6,0-8,0 (\*Western reverse chemical technical data sheet).

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Proses Cihazları

Masterbatch hamuru formülasyonu:

- Ön karışım için uygun görülen kimyasallar ve phr sistemi Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3. 3. Masterbatch formülasyonu

Kimyasallar	PHR	
	MasterBatch 1	MasterBatch 2
Dutral Ter 4049	100	-
Dutral Ter 9049	-	100
Parafinik Yağ	107	107
CaCO <sub>3</sub>	40	40
ZnO	4,93	4,93
Stearik Asit	2,133	2,133
Aflux 42	3,33	3,33
Peg 4000	2	2

Dispersiyonlu Yoğurma Makinesi (Kneader):

- Kauçuk hamurunu üretim prosesinin başlangıç işleminin gerçekleştirildiği yarı açık karıştırma makinasıdır. Bu çalışma için iki farklı ENB oranlı EPDM kauçuk ile 26 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Farklı ENB oranlarındaki iki

farklı kauçuk için önce kneader makinesinde 90 °C’de 1 dk 27 sn çignenmiştir. Daha sonra karbon (FEF 550), Parafinik yağ, CaCO<sub>3</sub>, ZnO, Stearik asit, Aflux 42 ve Peg 4000 kneader makinasına formülasyonda belirtilen oranda eklenmiştir. Karışım 5 dak 30 sn karışmaya bırakılmıştır. Kneader makinasında toplam 6 dak 57 sn karıştırılan masterbench karışımı 122,4 °C çıkış sıcaklığında mil’e aktarılmıştır. Hamur yoğurma işlemi için Şekil 3.1’de görülen Taixing Reshine Rubber & Plastic Machinery Co. Ltd. Şirketine ait model X(S)N-110 kneader makinası kullanılmıştır



Şekil 3. 1. Dispersiyonlu yoğurma makinesi (Kneader)

Açık mil:

- İki silindirli açık kauçuk karıştırma değirmeni esas olarak kauçuk ürününde kullanılır. Bu makine, kauçuk için kullanılmak üzere çift silindirlidir. Silindirin sıcaklığını ayarlamak için boş silindire doymuş buhar ve soğutma suyu girilebilir. Kauçuk hammaddelerini karıştırmak için farklı hızlarda nispi dönüş yapan iki silindirin boşluğuna çekilir. Başlangıç sıcaklığı 25,4 °C olan mile indirilen hamur stop blender yardımı ile 3 dk havalandırılarak sıcaklığı

97 °C ye kadar düşürülmüştür. Milde 1 dk 40 sn karıştırılan kauçuk hamuru banchoff'a verilmeye başlanmıştır. Benchoff'a transferi 2 dk 34 sn de gerçekleşmiştir. Toplamda 4 dk 14 sn de çevrilen masterbatch hamuru 14 cm uzunluğunda 2 cm kalınlığında şerit halinde batchoff'a gönderilmiştir. Batchoff da 15 dk dinlendirilen masterbatch hamuru paletin üzerine indirilmiştir. 16 °C'lik soğuk odaya alınmış ve 6 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Bu çalışma ENB oranları farklı olan diğer kauçuk içinde tekrarlamıştır. Hazırlanan 130,775 kg'lık iki masterbatchler 15'er eşit parçaya bölünerek 8,718 kilogramlar halinde formülasyon PHR'ların da belirtilen hızlandırıcılar ve şişirici oranlarında (MBT, CBS, TMTD, Kükürt, PVI, OBSH) milde 3 dk çevrilerek nihai 26 farklı formülasyonlu EPDM sünger hamuru haline getirilmiştir. Geriye kalan ikişer parça (34,872 kg toplam) yedek masterbatch olarak ayrılmıştır. Çalışmada Şekil 3.2'de gösterilen Taixing Reshine Rubber & Plastic Machinery Co. Ltd. Şirketine ait model X(S)K-600 açık mil makinası kullanılmıştır.



Şekil 3. 2. Açık mil

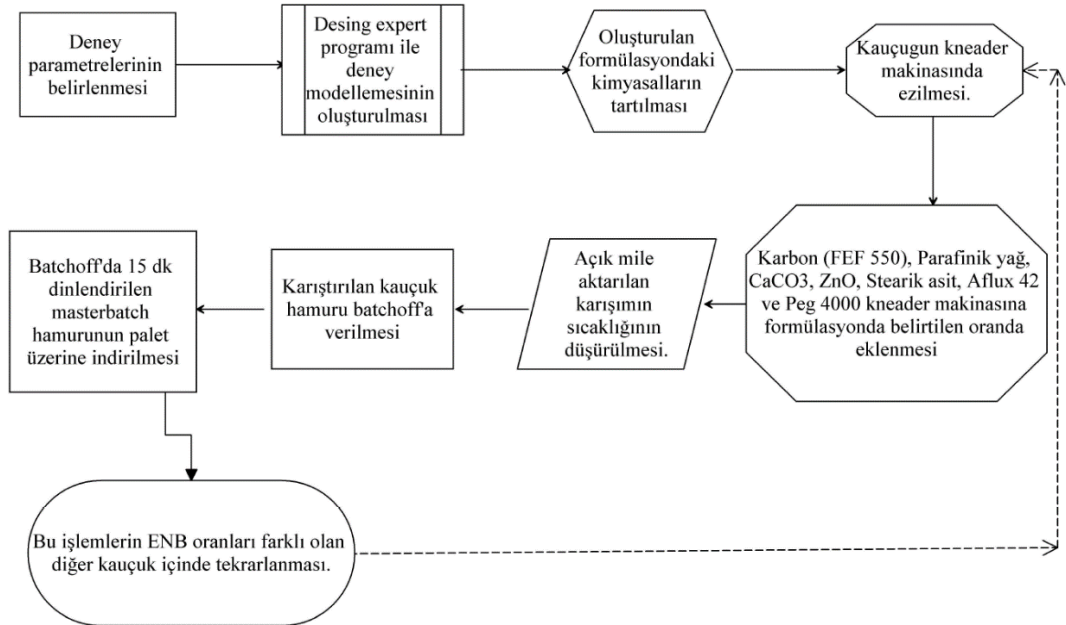
Hang type batch off :

- Açık milden incelti olarak çıkarılan sıcak kauçuk hamuru batch off da otomatik olarak askıya alınıp kurutulmuş ve dinlendirilmiştir. Taixing Reshine Rubber & Plastic Machinery Co. Ltd. Şirketine ait model XP-600 BATCH-OFF makinası kullanılmıştır.

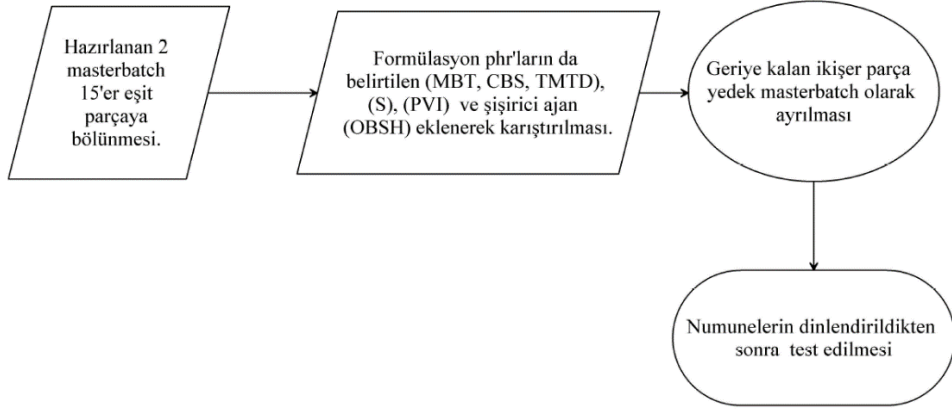
Genel numune formülasyonu hazırlanırken desing expert programının yardımı ile OBSH şişirici ajan için 400-1300 g arasında ENB için ise 4.5 ve 9.5 sabit değerler üzerine matematiksel modelleme yapılmıştır. Programın öneri için atadığı 26 adet OBSH gramajı göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu modelleme iki farklı değerler arasında yapılması gereken deney sayısını en aza düşürüp alınabilecek tüm sonuçların elde edilen sonuçlardan yola çıkarak modellemesini yapmaktadır. Gram olarak atanan değerler daha sonra phr olarak hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken 37500 gram EPDM kauçuğu 100 phr olarak alınıp diğer kimyasalların gramı phr olarak dönüştürülmüştür. Phr hesaplamak için Eşitlik 3.1'deki formül kullanılmıştır.

$$phr = \frac{x \text{ gr kauçuk}}{100} \quad (3.1)$$

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te karışımın akış diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Karışım prosesi masterbatch akış diyagramı



Şekil 3. 4. Karışım prosesi son aşama akış diyagramı

Çizelge 3. 4. OBSH ve ENB fraksiyonlarındaki genel numune formülasyonları

Deney NO	PHR																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Dutral TER 4049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dutral TER 9049	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OBSH	2,26	1,87	3,46	2,59	2,26	1,06	2,26	2,89	3,46	1,46	1,06	1,06	3,17	2,26	1,87	3,46	2,59	2,26	1,06	2,26	2,89	3,46	1,46	1,06	1,06	3,17
KARBON (FEF N 550)	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3	89,3
PARAFİNİK YAG	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
CaCO <sub>3</sub>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AKTİF ÇİNKO OKSİT	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93	4,93
STEARİK ASİT	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
AFLUX42	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
PEG 4000	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MBT	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133	1,133
CBS	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
TMTD	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
KÜKÜRT	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
PVI	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
CaO	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33

### 3.2.2. Laboratuvar cihazları

Viskozimetre:

- Mooney viskometre kauçuğun akışkanlığını test eder. Ham ya da formüle edilmiş kauçuğun ön vulkanizasyonunu ve stres gevşeme karakteristiğini gösterir. Test belirli sıcaklık ve basınç altında 2 rpm hızındaki metal diskteki kauçuğun torkla ölçülmesi ile gerçekleşir. Şekil 3.5'te görülen İkizler Kauçuk Makinaları Ltd. Şirketine ait model GLK 1002 MV Viskozimetre makinası kullanılmıştır.



Şekil 3. 5. Viskozimetre

Reolojik Özellikler:

- EPDM sünger kauçuk karışımının pişme özellikleri, 185 °C test sıcaklığı 3 dk test süresince GLK300-MDR reometre kullanılarak ölçülmüştür. Aynı zamanda minimum tork (ML), maksimum tork (MH), tork farkı (MH-ML) ve numunenin %90'nının pişme (kürlenme) süresi belirlenmiştir.
- GLK Rotorsuz Reometre cihazı maksimum tork, pişirme süresi, iyileşme süresi, küllenme süresi, viskozite ve diğer faktörleri baz alarak kauçuğun karakteristiğini belirlemek için kullanılır.

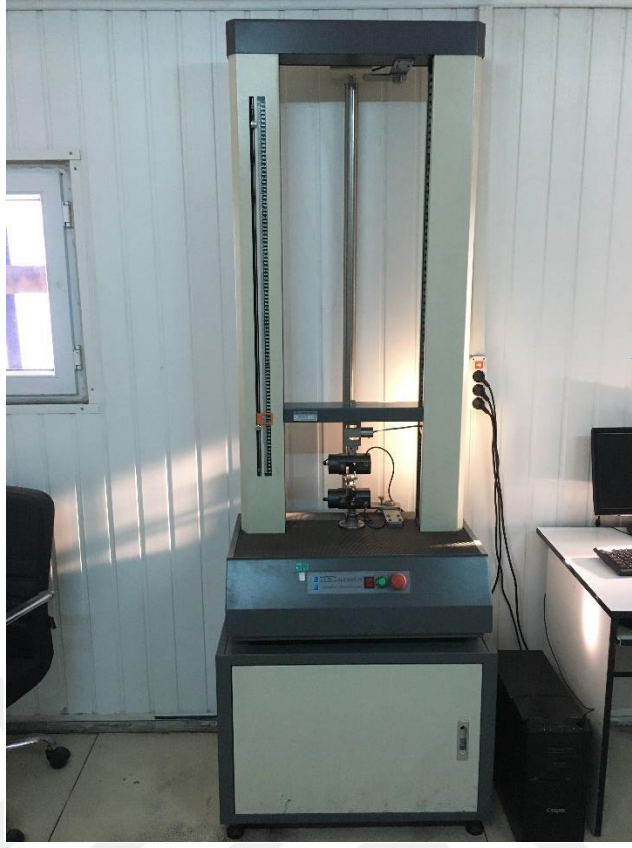
Çalışmada Şekil 3.6’de verilen İkizler Kauçuk Makinaları Ltd. Şirketine ait model GLK 300 MDR Rheometre makinası kullanılmıştır.



Şekil 3. 6. Rheometre

Kopma Çekme Mukavemeti ve Uzama:

- Hazırlanan EPDM sünger kauçuk karışımının mekanik özellikleri olan çekme-kopma testleri GLK 3000-T5 çekme-kopma cihazı ile ISO 37’ye göre 200 mm/dk hızında incelenmiştir.
- ISO 37 standartına göre kullanılan makine parametreleri: Hız 200 mm/dk; Yön: yukarı hareket, Uzantı türü: İzleme ve yük ortalama süresi dak ile numunelerin çekme mukavemeti (Ts/MPa) ve uzama kopma (Eb/%) değerleri belirlenmiştir.
- Çekme testi, kauçuk endüstrisinde çok önemli bir testtir. Sadece malzemenin mukavemetini tanımlamaz, aynı zamanda uzamayı da anlatır. Çekme testi, numune üzerinde dışa doğru bir çekme kuvveti uygulamakla ilgilidir. Şekil 3.7’te verilen İkizler Kauçuk Makinaları Ltd. Şirketine ait model GLK-3000 T5 Çekme-Kopma makinası kullanılmıştır.



Şekil 3. 7. Çekme-uzama test makinası

Yoğunluk değişimi:

- Hazırlanan 26 formülasyona ait numunelerin (55mmx55mmx66mm) tayin cihazı ile yoğunlukları belirlenmiştir. Daha sonra 160°C sıcaklıkta 15 dk etüvde bekletilip vulkanizasyonu sağlanan numuneler tekrar aynı şekilde yoğunluk tayin cihazında test edilip son yoğunlukları belirlenmiştir.
- Arşimed prensibini baz alarak yüzdürme yöntemi benimsenerek ölçüm sonuçlarını direk olarak verir. Şekil 3.8’da verilen İkizler Kauçuk Makinaları Ltd. Şirketine ait model GP-300E/600E dijital yoğunluk kiti kullanılmıştır.



Şekil 3. 8. Dijital Yoğunluk Ölçüm Aleti

Hacim değişimi:

- Hazırlanan 26 formülasyona ait 26 farklı 55mmx55mmx66mm boyutlarındaki kalıp ile çığ hamurdan basılan numuneler 160°C sıcaklıkta 15 dakika etüvde bekletilmiş ve vulkanizasyonları sağlanmıştır. Yapılan deneyin sonuçları çığ hamurun şekillendirildiği kalıbın hacim ölçüsü ile kıyaslanmıştır. Çalışmada Şekil 3.9'de verilen Haida international firmasına ait model HD-P835 Etüv kullanılmıştır.



Şekil 3. 9. Etüv

Hassa Terazi Aleti Furi FKS series:

- Tartım endüstrisinde hassas terazileri "miktarları çok hassas bir sayıya, genellikle bir miligrama kadar tartmak için kullanılan terazi" olarak tanımlarız. Kullanılan hassas terazi Şekil 3.10'de verilmiştir.



Şekil 3. 10. Hassa Terazi Aleti

### Sertlik Özellikleri:

- Hazırlanan farklı EPDM sünger kauçuk karışımları 185 °C’de 3 dk 55 sn vulkanize edilen ISO 48 standartına uygun sertlik dişleri kullanılarak incelenmiştir. Shore sertliği, Durometre olarak bilinen Şekil 3.11’da görülen Macrona shoremetre cihazı ile ölçülmüştür. Sertlik değeri, Durometer girinti ayağının test edilen numuneye girmesiyle belirlenir.



Şekil 3. 11. Shoremetre

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Reometre (Rheometer) Analizi

Reolojik ölçümler, Time: 3:00 m/s, Torque: 20.93 dN.m ve T: 185 °C makine parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parametrelere göre reolojik analiz sonuçları Şekil 4.1-10 'da verilmiştir.

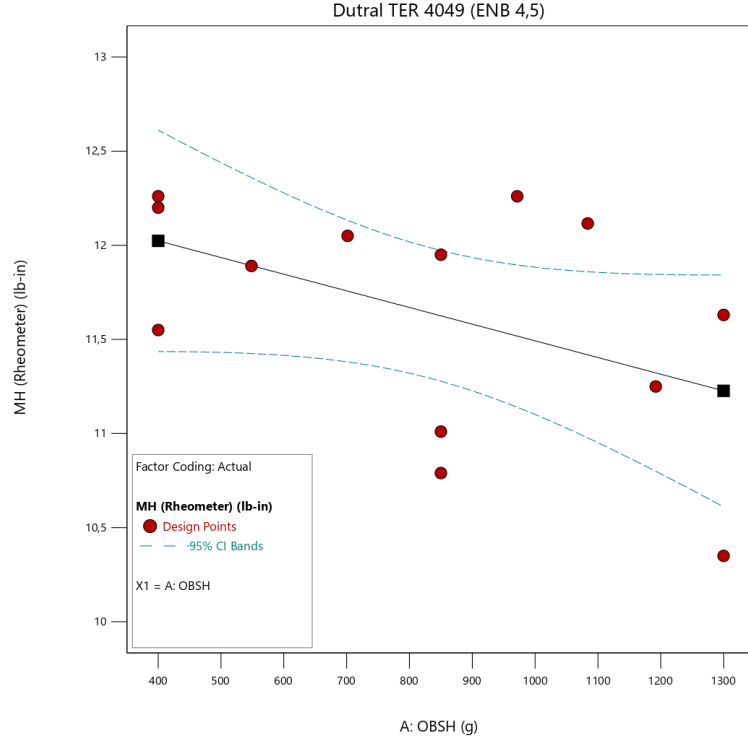
#### 4.1.1. Dutral TER 4049

ENB oranı düşük olan terpolimerin reolojik analiz sonuçları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun reolojik test sonuçları

Örnek	MH/dN.m	ML/dN.m	Ts2(m:s)	Ts90/(m:s)
1	11,01	3,6	0,293	1,353
2	12,05	4,65	0,293	1,38
3	11,63	3,37	0,266	1,316
4	12,26	4,43	0,28	1,353
5	10,79	2,556	0,25	1,286
6	12,2	3,43	0,256	1,313
7	11,95	3,4	0,263	1,32
8	12,116	3,52	0,256	1,333
9	10,35	2,516	0,273	1,29
10	11,89	2,81	0,25	1,31
11	12,26	3,436	0,263	1
12	11,55	2,89	0,263	1,346
13	11,25	3,106	0,266	1,32

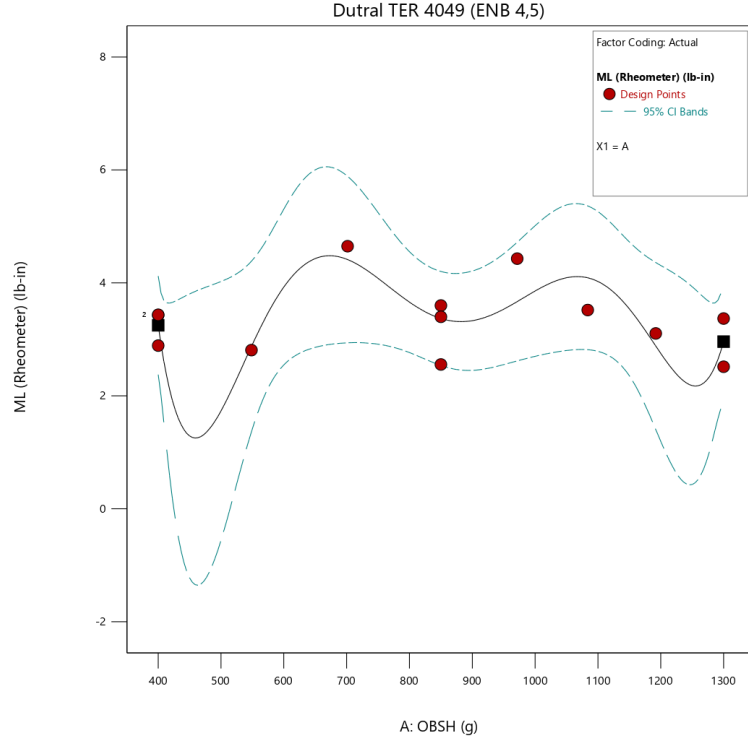
MH değeri kauçuk karışımının vulkanizasyondan sonraki en yüksek viskozite değerini belirtir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, formülasyonlarda OBSH şişirici ajanı phr'ı arttıkça karışımın vulkanizasyon sonrasındaki en yüksek viskozite değerini vermekte olan MH maksimum torkun (lb-in (pounds-inch)) azaldığı gözlemlenmiştir. Şişirici ajanın karışım içerisinde vulkanizasyon sırasında oluşan hücreler OBSH şişirici ajanı arttıkça artar ve oluşan hücre sayısı fazlalaşır bu nedenle MH değeri OBSH phr'ı artışına göre azalır.



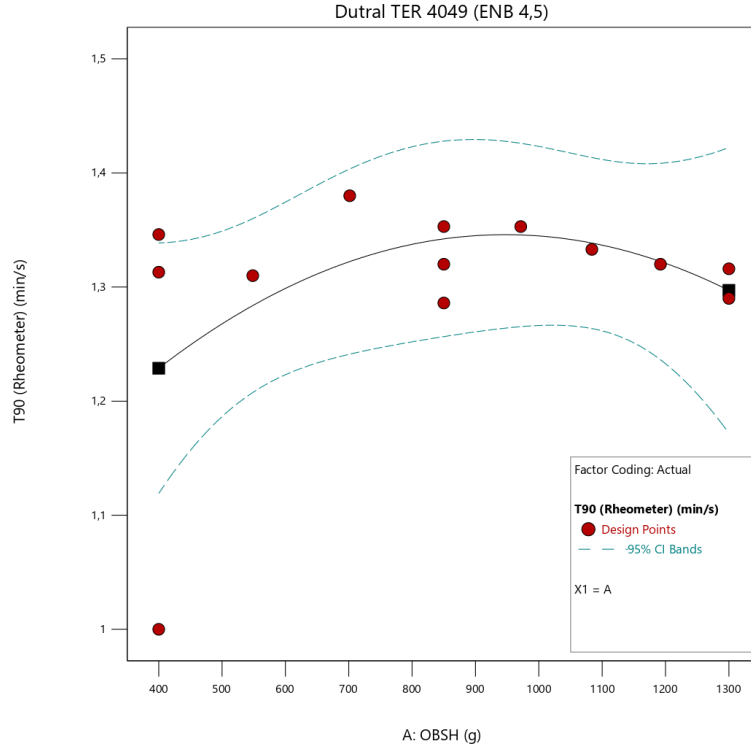
Şekil 4. 1. OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun MH (lb-in) analiz sonuçları.

Şekil 4.2'de formülasyonlardaki düşük ENB oranlarındaki EPDM kauçuğun OBSH şişirici ajanı arttıkça karışımın vulkanizasyon sonrasındaki en düşük viskozite değeri (ML) minimum tork, lb-in (pounds-inch), farklı phr'lardaki şişirici ajanın oluşturacağı hücreler henüz hücre çekirdeği evresinde olduğu için kauçuğun reolojik özelliğine etkisi olmamıştır.

T90 (min/s) kauçuk karışımının %90'ının piştiği andaki süreyi tanımlar. Şekil 4.3'te OBSH artışıyla T90 değerinin değişimi görülmektedir. Karışımların pişme dakikalarının belirlenmesinde test kriterlerinden olan T90 maksimum pişmeye ulaştığındaki zaman (birimi dakika ya da dakika/ saniye), farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanın vulkanizasyon kimyasına doğrudan etkisi olmadığı için karışımın maximum pişmeye ulaştığı değerleri etkilemediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 2. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun ML (lb-in) analiz sonuçları



Şekil 4. 3. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun T90 (min/s) analiz sonuçları

#### 4.1.2. Dutral TER 9049

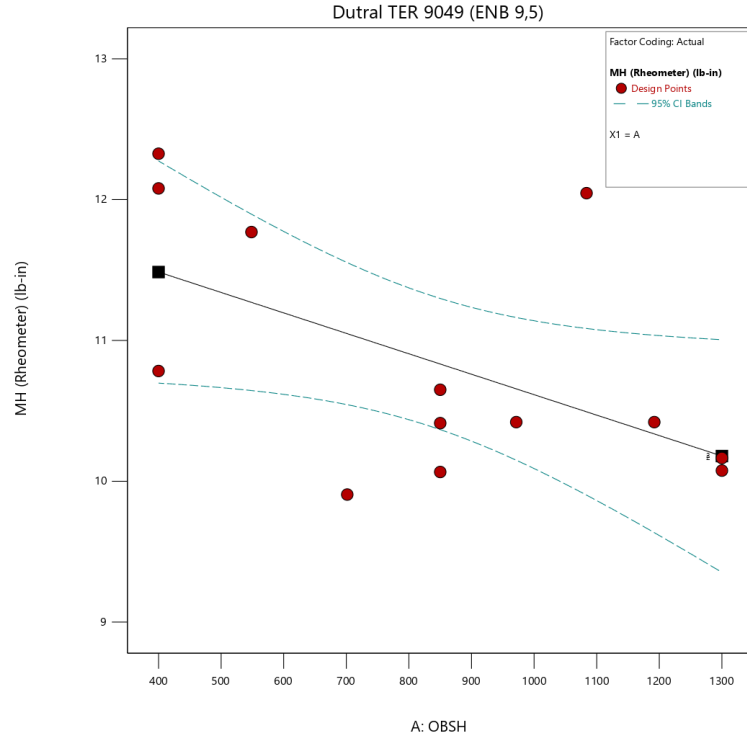
ENB oranı yüksek olan EPDM terpolimerinin reolojik analiz sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2. Farklı OBS phr’larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun reolojik test sonuçları

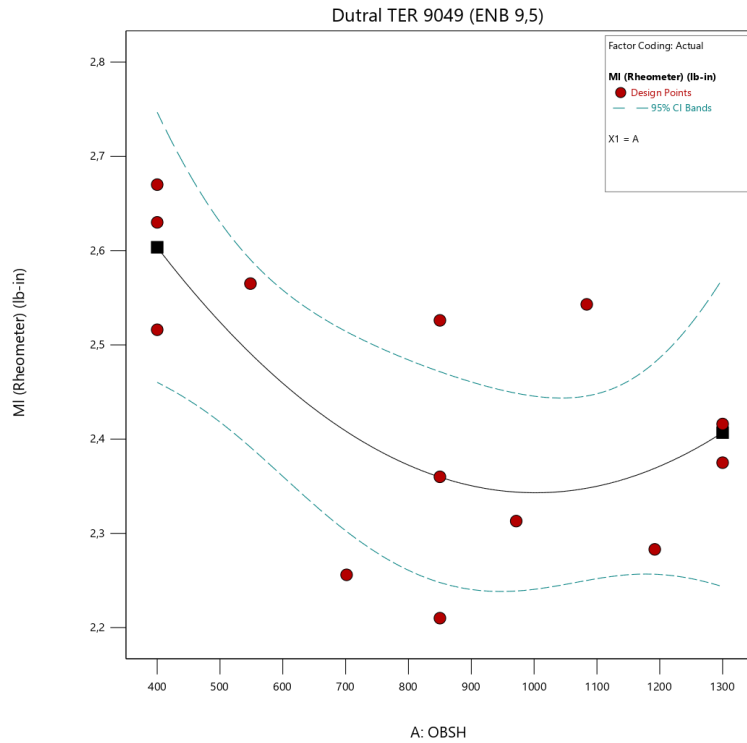
Örnek	MH/dN.m	ML/dN.m	Ts2(m:s)	Ts90/(m:s)
1	10,066	2,21	0,253	1,216
2	9,906	2,256	0,26	1,24
3	10,076	2,416	0,27	1,276
4	10,42	2,313	0,26	1,233
5	10,413	2,36	0,26	1,233
6	10,783	2,516	0,256	1,22
7	10,65	2,526	0,266	1,256
8	12,046	2,543	0,256	1,29
9	10,165	2,375	0,28	1,255
10	11,77	2,565	0,24	1,195
11	12,326	2,67	0,243	1,276
12	12,08	2,63	0,24	1,23
13	10,42	2,283	0,26	1,256

MH değeri karışımın vulkanizasyondan sonraki en yüksek viskozite değerini vermektedir. Şekil 4.4’te görüldüğü üzere formülasyonlarda OBSH şişirici ajanı phr’ı arttıkça karışımın vulkanizasyon sonrasındaki en yüksek viskozite değerini vermekte olan MH maksimum tork (Ib-in (pounds-inch)) azaldığı gözlemlendi. Şişirici ajanın karışım içerisinde vulkanizasyon sırasında oluşan hücreler OBSH şişirici ajanının artmasına paralel olarak fazlalaşır, şişirici ajanın miktarı daha fazla azot gazının oluşmasını sağlayacağından gözeneklilik miktarı homojen karışan karışımlarda artar, bu nedenle MH değeri OBSH phr oranına göre azalır.

ML değeri karışımın vulkanizasyondan sonraki en düşük viskozite değerini gösterir. Şekil 4.5’te formülasyonda yüksek ENB oranlarında OBSH şişirici ajanının karışım içerisindeki phr’ı arttıkça vulkanizasyon sonrasındaki en düşük viskozite değeri ML’nin azaldığı gözlemlendi.

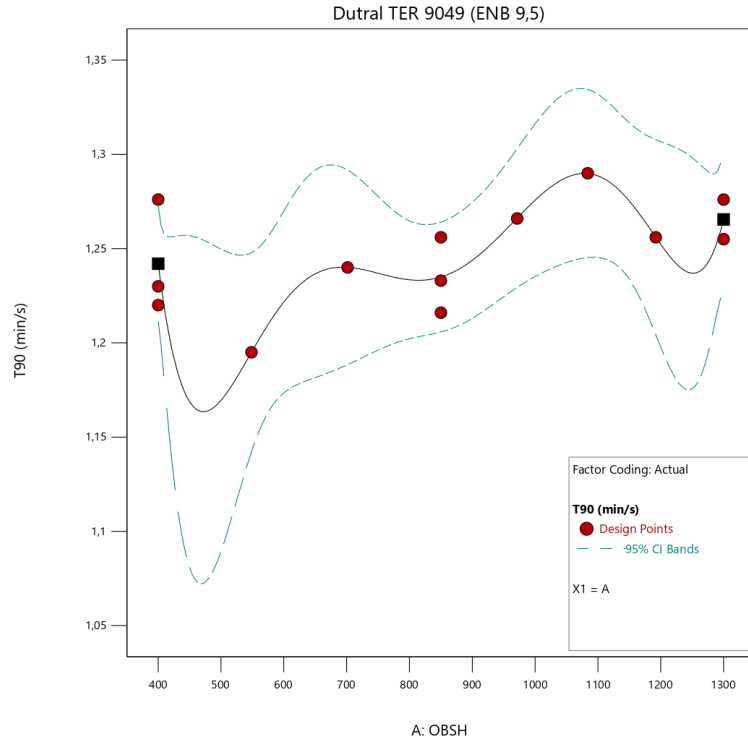


Şekil 4. 4. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun MH (lb-in) analiz sonuçları



Şekil 4. 5. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun ML (lb-in) analiz sonuçları

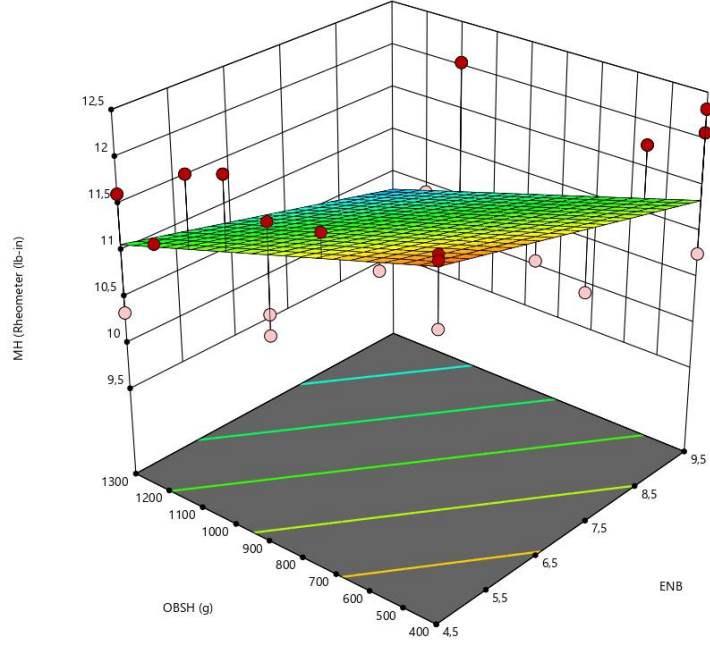
Şekil 4.6'da formülasyonlarda yüksek ENB içeren EPDM kauçuklarda OBSH phr'ı arttıkça pişme dakikalarının belirlenmesinde test kriterlerinden olan T90 maksimum pişmeye ulaştığındaki zaman, (1,19-1,28) dak arasında düzensiz kritik noktalar gösterdi. OBSH şişirici ajanının kauçuk vulkanizasyon prosesine phr miktarına bağlı olmaksızın etkilemediği gözlemlenmiştir.



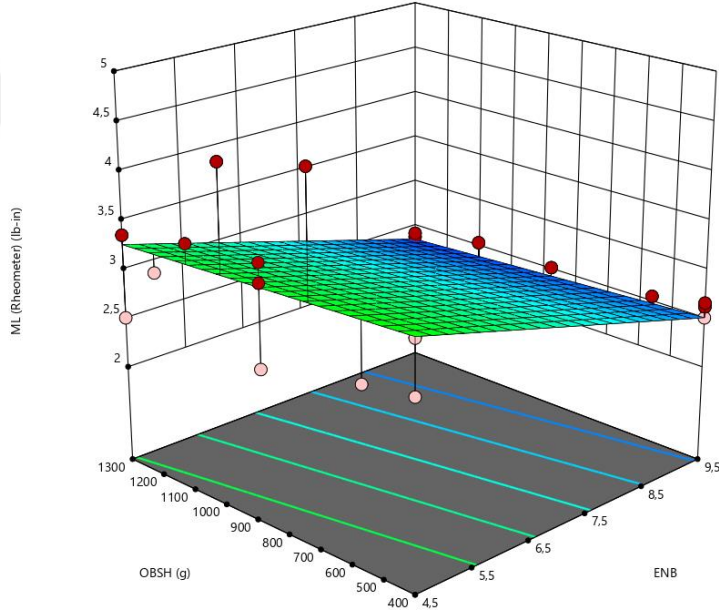
Şekil 4. 6. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun T90 (min/s) analiz sonuçları

#### 4.1.3. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının reometre analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.7'de formülasyonlarda kullanılan farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça OBSH şişirici ajanının MH'a etkisinin azaldığı gözlemlendi, dolayısıyla formülasyon içerisinde OBSH şişirici ajanı ve ENB oranı arttıkça vulkanizasyon sonrası sertliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.8'de gösterilen EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça vulkanizasyon sonrasındaki en düşük viskozite değeri ML minimum tork, OBSH şişirici ajanının phr'ına bağlı olmaksızın azaldığı gözlemlendi.

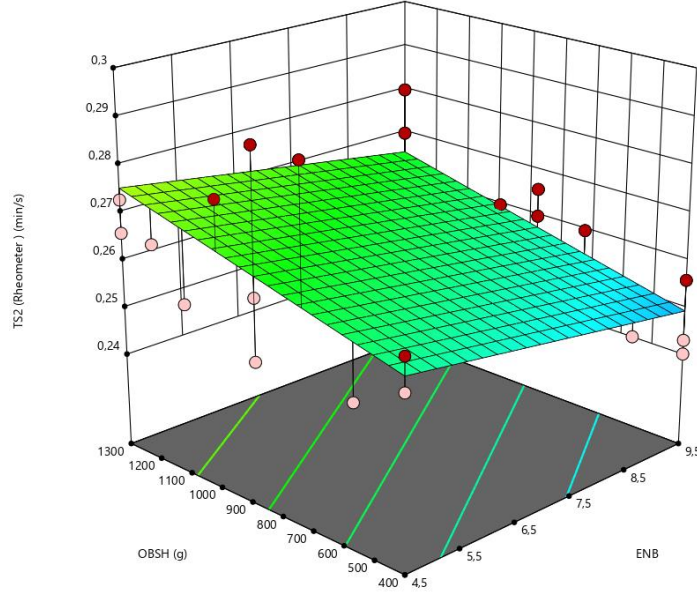


Şekil 4. 7. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun MH/dN.m birleşik analizi



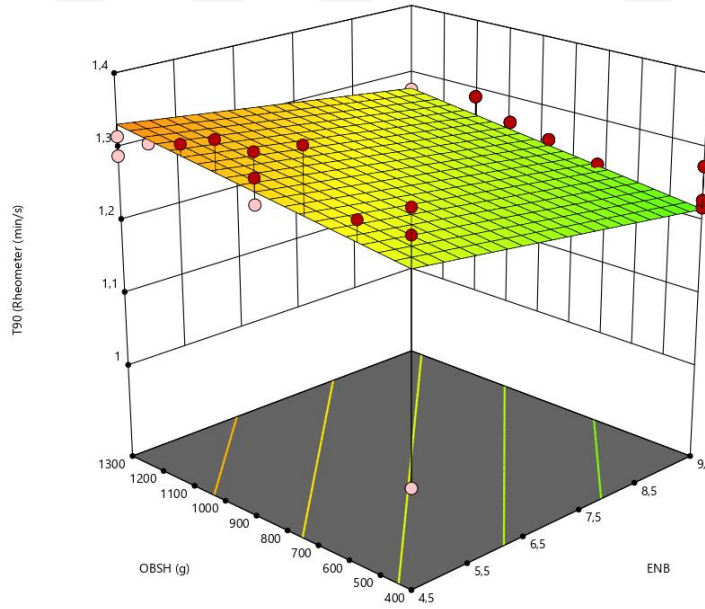
Şekil 4. 8. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun ML/dN.m birleşik analizi

Şekil 4.9'da EPDM kauçuklardaki ENB oranı arttıkça pişme başlangıcı zamanı, birimi dakika ya da dakika: saniye olan TS2 değeri azaldığı, OBSH şişirici ajanı arttıkça TS2 değeri arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 9. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun TS2/(m:s) birleşik analizi

Şekil 4.10'da EPDM kauçuklardaki ENB oranı artıkça pişme dakikalarının belirlenmesinde test kriterleri olan T90 maksimum pişmeye ulaştığındaki zaman, azaldığı, OBSH şişirici ajanı artıkça arttığı gözlemlenmiştir.



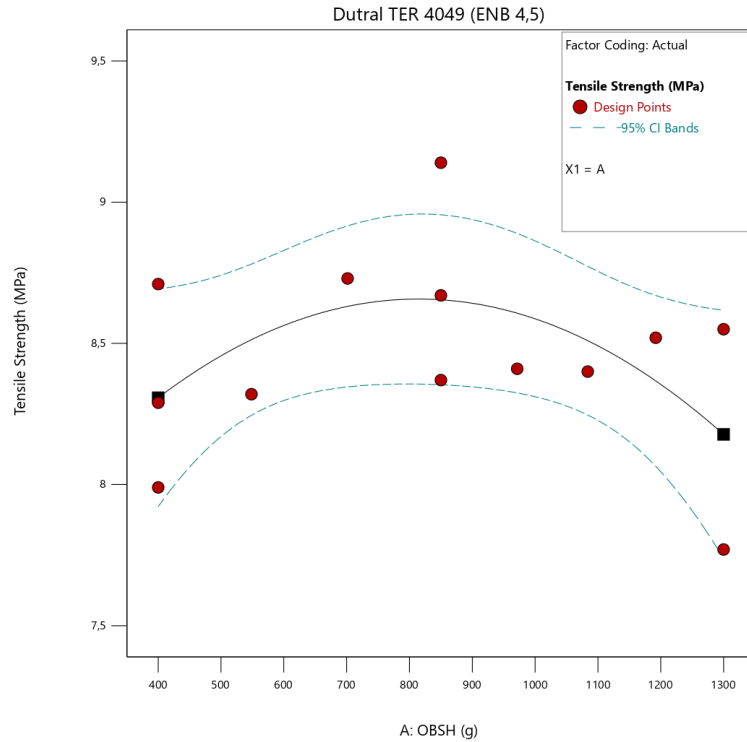
Şekil 4. 10. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun Ts90/(m:s) birleşik analizi

## 4.2. Gerilme Direnci (Tensile strength) ve Kopma Uzaması (Elongation at break) Analizleri

### 4.2.1. Dutral TER 4049

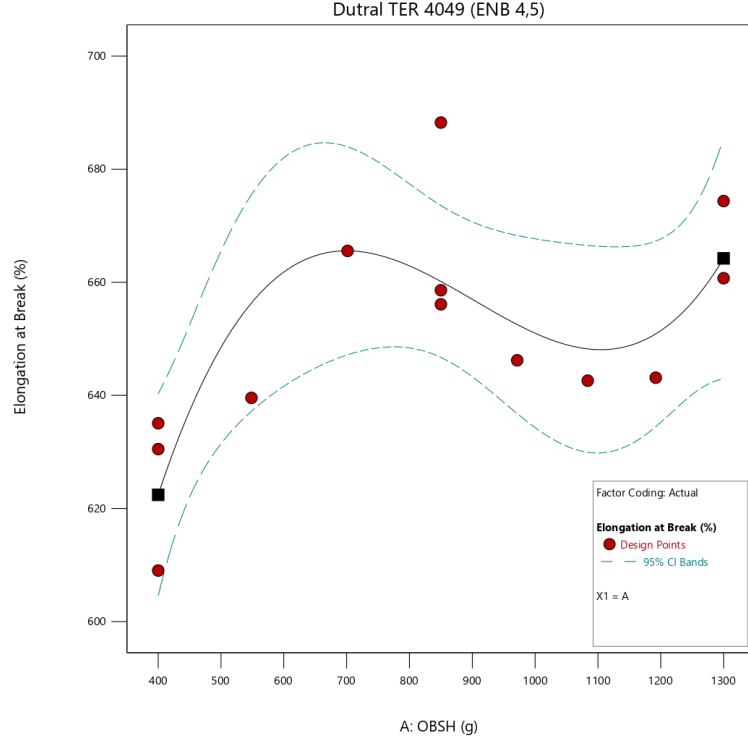
Endüstride genellikle ISO 37 ile çekme kopma testleri yapılmaktadır. ISO 37 standardı kullanılarak makine parametreleri ile yapılan çekme analizi Hız: 200 mm/dk, Yön: yukarı hareket, Uzatma Tipi: İz ve Yük Ortalama Süre: 3 dak olarak yapılan Dutral TER 4049 içeren formülasyonun analiz sonuçları Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Şekil 4.11’de çekme uzama analizi sonucu ENB oranı düşük EPDM kauçuğun gerilme direnci, OBSH şişirici ajanının phr’ı arttıkça önce artıp daha sonra azaldığı gözlemlendi.



Şekil 4. 11. Farklı OBSH phr’larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun gerilme direnci (MPa) analiz sonuçları

Şekil 4.12’de düşük ENB oranındaki EPDM kauçuk ve farklı phr’lardaki OBSH şişirici ajanının kopma uzama yüzdesi analizinde OBSH phr’ı arttıkça kopma uzama yüzdesi artmaktadır.



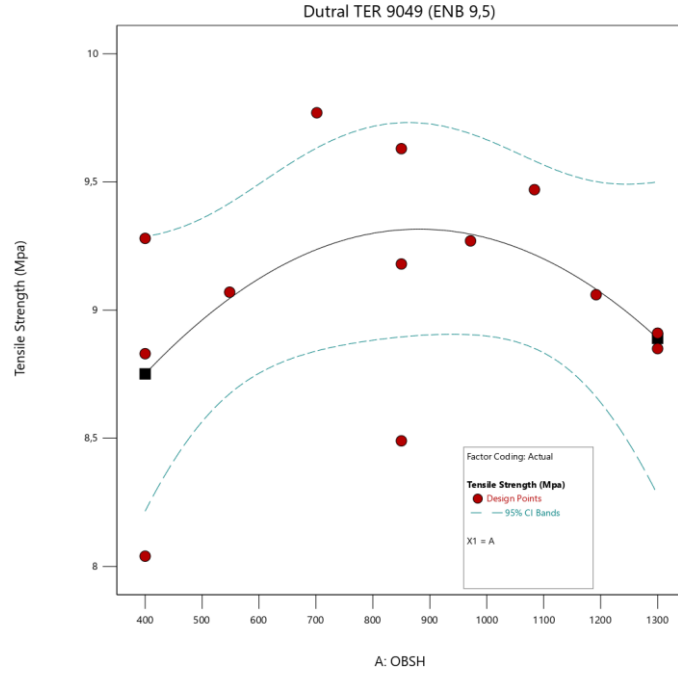
Şekil 4. 12. Farklı OBSH phr’larında hazırlanan Dutral TER 4049 EPDM kauçuğunun kopma uzaması (%) analiz sonuçları

#### 4.2.2. Dutral TER 9049

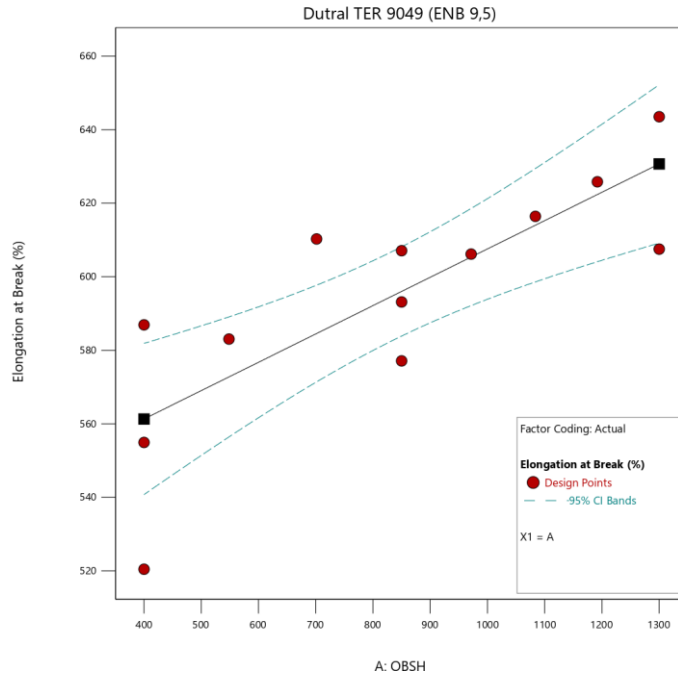
ISO 37 standardı kullanılarak makine parametreleri ile yapılan çekme analizi Hız: 200 mm/dk, Yön: yukarı hareket, Uzatma Tipi: İz ve Yük Ortalama Süre: 3 dk olarak Dutral TER 9049 içeren formülasyonun çekme analizi sonuçları Şekil 4.13 ve 4.14’de gösterilmiştir.

Şekil 4.13’te yüksek ENB oranındaki EPDM kauçuğun farklı phr’lardaki OBSH şişirici ajanı etkisiyle gerçekleşen gerilme direnci önce artıp daha sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan formülasyonlarda OBSH şişirici ajanının en yüksek gerilme direnci verdiği noktada karışım içerisindeki şişirici ajan miktarı 850 gr olarak gözlemlenmiştir. Şekil 4.14’te yüksek ENB oranındaki EPDM kauçuğunun

farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisi, OBSH phr'ının artması ile kopma uzama yüzdesini arttığını göstermiştir.



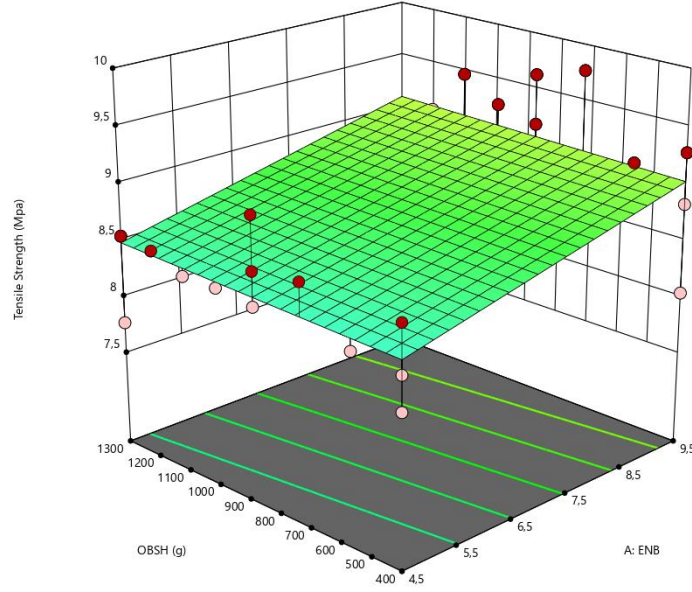
Şekil 4. 13. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun gerilme direnci (MPa) analiz sonuçları



Şekil 4. 14. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçuğunun uzama kopma (%) analiz sonuçları.

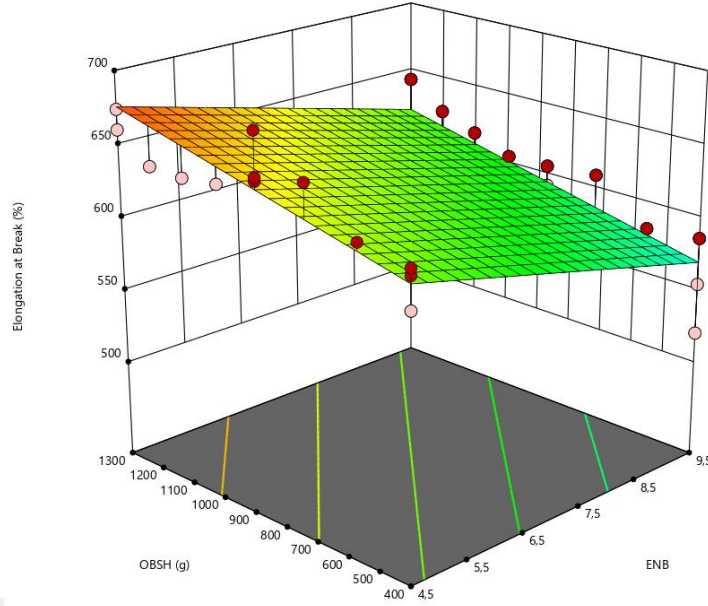
#### 4.2.3. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının gerilme direnci analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.15'te EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça gerilme direncinin arttığı gözlemlenmiştir, OBSH phr'ının artması ENB oranlarındaki farka rağmen gerilme direncini etkilemediğini göstermiştir.



Şekil 4. 15. Farklı OBSH phr'lar da ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun gerilme direnci (Mpa) birleşik analizi

Şekil 4.16'da EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça kopma uzamasının azaldığı, OBSH phr'ı arttıkça kopma uzamasının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 16. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun uzama kopma (%) birleşik analizi

### 4.3. Sertlik (Hardness) Analizi

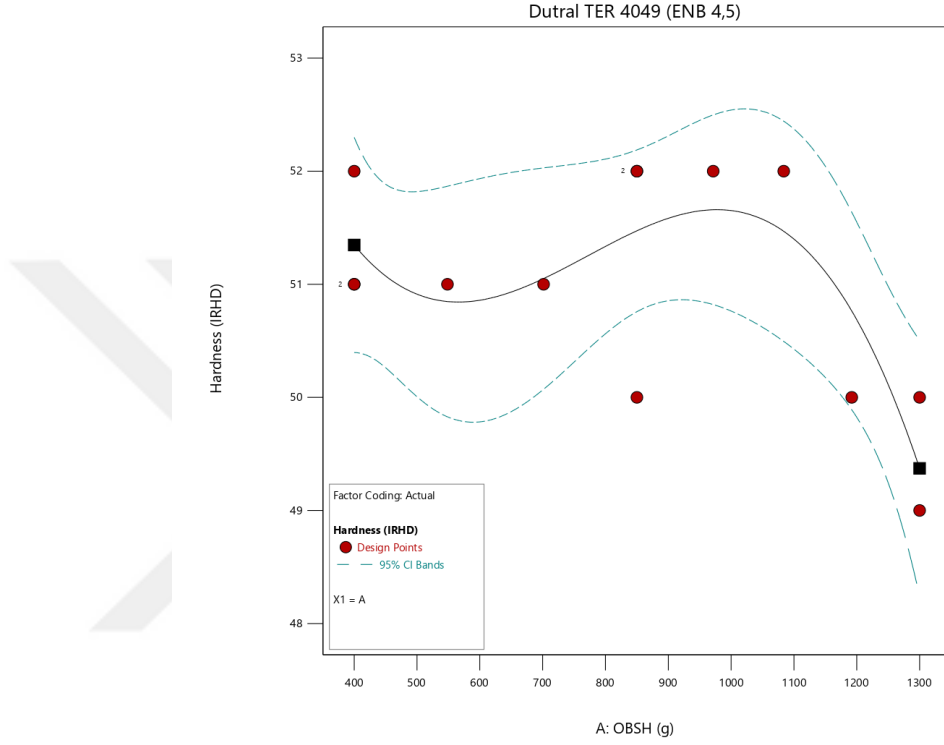
İki Farklı ENB oranlarında ve farklı phr'larda yapılan karışımların İSO 48'e göre sertlik analiz sonuçları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Farklı OBS phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçunun reolojik test sonuçları

Örnek	MH/dN.m	ML/dN.m	Ts2(m:s)	Ts90/(m:s)
1	850	50	50	1,216
2	701,5	51	50	1,24
3	1300	50	49	1,276
4	971,5	52	49	1,233
5	850	52	51	1,233
6	400	51	51	1,22
7	850	52	49	1,256
8	1083,79	52	50	1,29
9	1300	49	49	1,255
10	548,5	51	51	1,195
11	400	52	51	1,276
12	400	51	50	1,23
13	1192	50	50	1,256

### 4.3.1. Dutral TER 4049

Şekil 4.17’de düşük ENB oranındaki EPDM kauçuğunun OBSH şişirici ajan phr’ı arttıkça sertliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

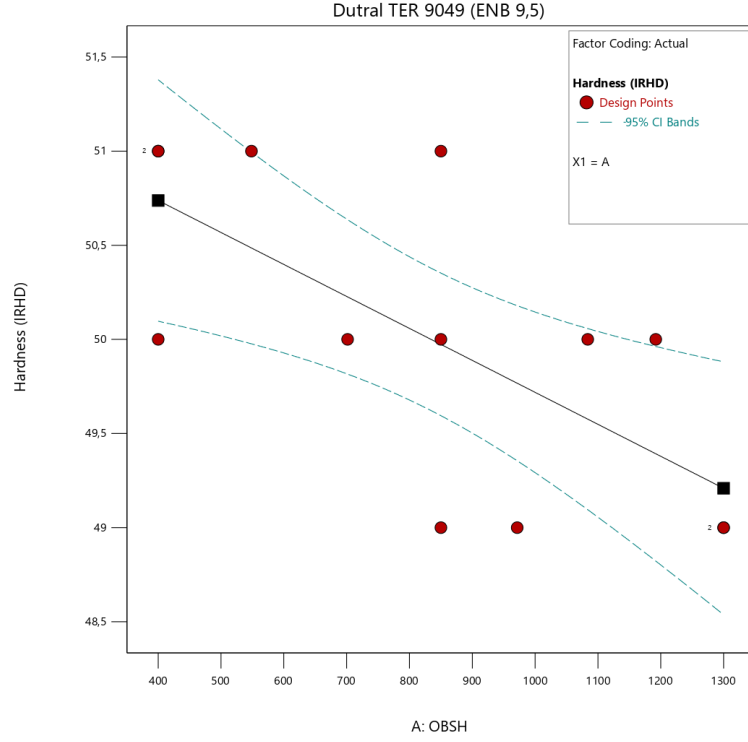


Şekil 4. 17. Farklı OBSH phr’larında Dutral TER 4049 (ENB 4.5) formülasyonun sertlik analizi

Şişirici ajanı oranı karışımın içindeki gaz hacmini arttıracığı için vulkanizasyondan sonraki yoğunluk azalır. Yoğunluğun azalması ile birim alandaki katı madde azalacağı için sertlik düşmektedir.

### 4.3.2. Dutral TER 9049

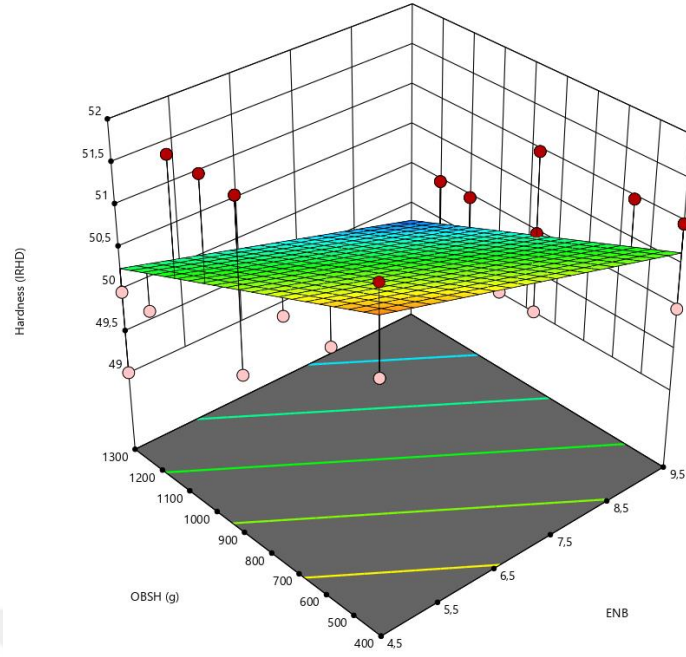
Şekil 4.18’de yüksek ENB oranı içeren EPDM kauçuğunun OBSH şişirici ajan phr’ının artması ile sertlik özelliği (IRHD) azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 18. Farklı OBSH Dutral TER 9049 (ENB 9,5) formülasyonunun sertlik analizi

### 4.3.3. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının sertlik analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.19'da farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuk karışımında karışım içerisindeki OBSH şişirici ajanının phr'ı ve EPDM kauçuk içindeki ENB oranı arttıkça sertlik özelliği azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 19. Farklı OBSH phr'lar da ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun sertlik (IRHD) birleşik analizi

#### 4.4. Viskozimetrik (Mooney viscosity) Analiz

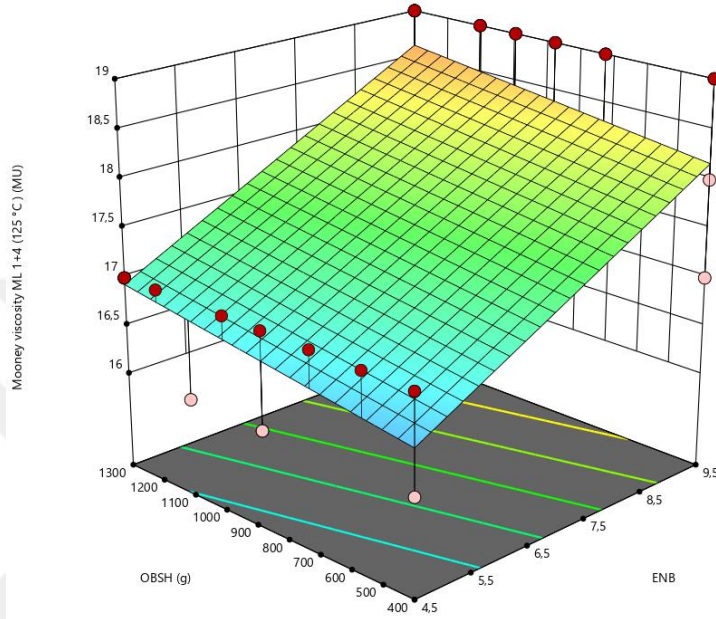
Hazırlanan iki farklı ENB oranındaki kauçuk ve 13 farklı phr OBSH ile dozajlanmış 26 farklı formülasyonun numuneleri 125 °C de test edilmiştir. Yapılan vizkosite analizi Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4. Farklı OBSH phr'larında hazırlanan Dutral TER 9049 EPDM kauçğunun reolojik test sonuçları

Örnek	MH/dN.m	ML/dN.m	Ts2(m:s)	Ts90/(m:s)
1	850	17	17	1,216
2	701,5	17	19	1,24
3	1300	17	19	1,276
4	971,5	17	19	1,233
5	850	16	18	1,233
6	400	16	18	1,22
7	850	16	19	1,256
8	1083,79	16	19	1,29
9	1300	17	19	1,255
10	548,5	17	18	1,195
11	400	17	19	1,276
12	400	17	17	1,23
13	1192	17	18	1,256

#### 4.4.1. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının viskozimetrik analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.20’de EPDM kauçuğun içerisindeki ENB oranı ve OBSH miktarı arttıkça oluşturulan karışımın mooney viskozitesinin arttığı gözlemlenmiştir.



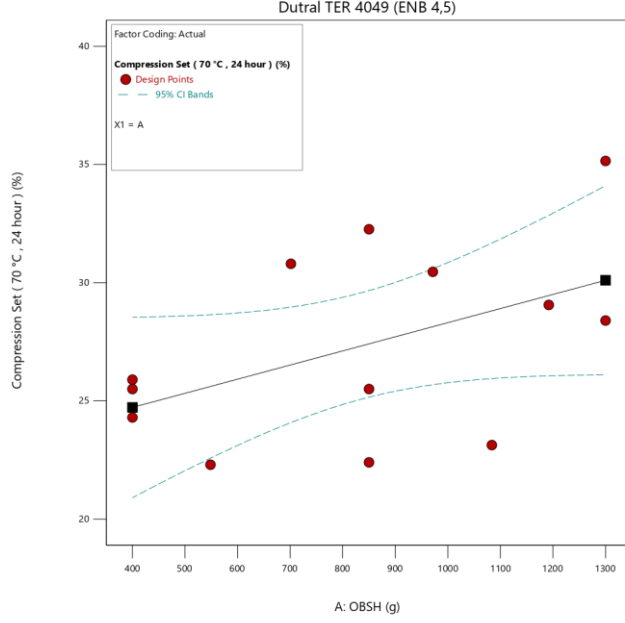
Şekil 4. 20. Farklı OBSH phr’larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun viskozimetrik birleşik analizi

#### 4.5. Kalıcı Ezilme (Compression set) Analizi:

Hazırlanan iki farklı ENB oranındaki kauçuk ve 13 farklı phr’daki OBSH ile dozajlanmış 26 farklı formülasyon numuneleri ISO 815 standartına göre etüvde 70 °C’de 24 saat ezilme düzeneğine yerleştirmiştir.

##### 4.5.1. Dutral TER 4049

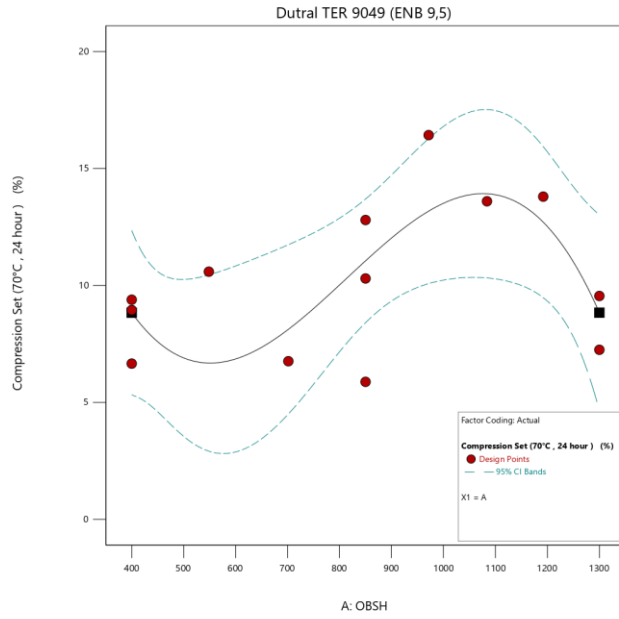
Şekil 4.21’de ENB oranı düşük olan EPDM kauçuğunda OBSH şişirici ajan phr’ının artması 70 °C, 24 saatte yüzde kalıcı ezilme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 21. Farklı OBSH Dutral TER 4049 (ENB 4.5) formülasyonunun kalıcı ezilme analizi

#### 4.5.2. Dutral TER 9049

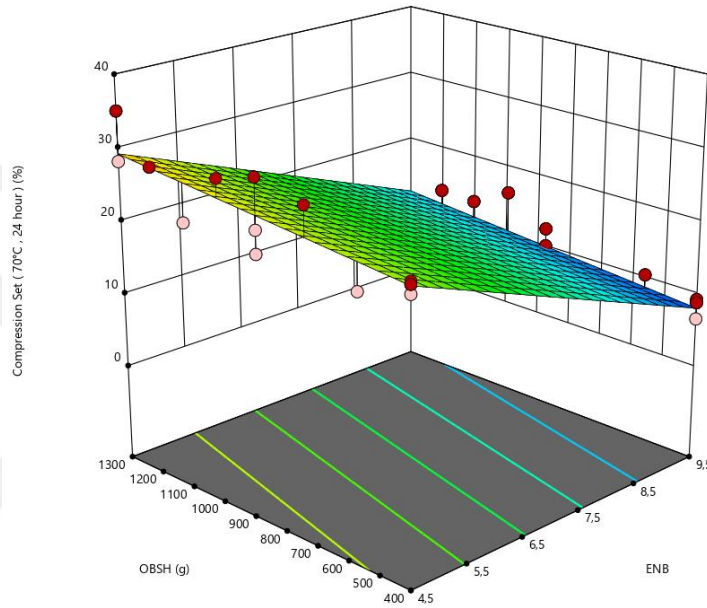
Şekil 4.22'de ENB oranı yüksek olan EPDM kauçuğunda OBSH şişirici ajan phr'ının artması 70 °C, 24 saatte yüzde kalıcı ezilme dayanımının, belirlenen OBSH phr aralığında önce arttığı daha sonra azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 22. Farklı OBSH Dutral TER 9049 (ENB 9.5) formülasyonunun kalıcı ezilme analizi

#### 4.5.3. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının kalıcı ezilme analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.23'de 70 °C, 24 saatte yüzde kalıcı ezilme dayanımı EPDM kauçuklardaki ENB oranı ile OBSH şişirici ajanının phr miktarı arasında ters ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça kalıcı ezilmenin azaldığı, OBSH phr'ı arttıkça kalıcı ezilme dayanımı arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 23. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun kauçuklarının kalıcı ezilme analizlerinin karşılaştırılması

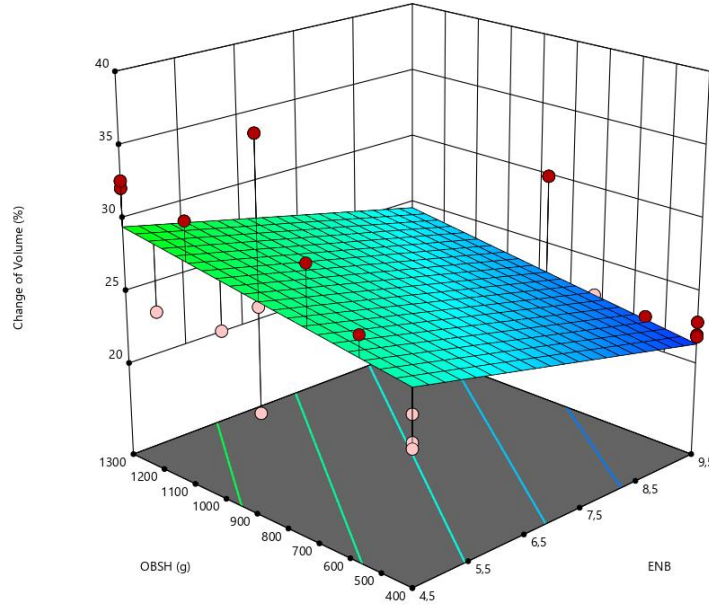
#### 4.6. Hacim Değişimi (Change of volume) Analizi

70 °C'de 20 dk süre ile etüve yerleştirilen numunelerdeki hacim değişimi metrik beher, büret ve yoğunluk ölçer yardımıyla hem kaptadaki sıvı değişimi hem de bağlı yoğunluk ölçme cihazı yardımıyla gözlemlendi.

##### 4.6.1. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının hacim değişimi analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.24'te yapılan farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle hacim değişimi, ENB oranı arttıkça azaldığı

gözlemlenmiştir. Bununla beraber OBSH miktarı arttıkça hacim değişiminin arttığı gözlemlenmiştir.



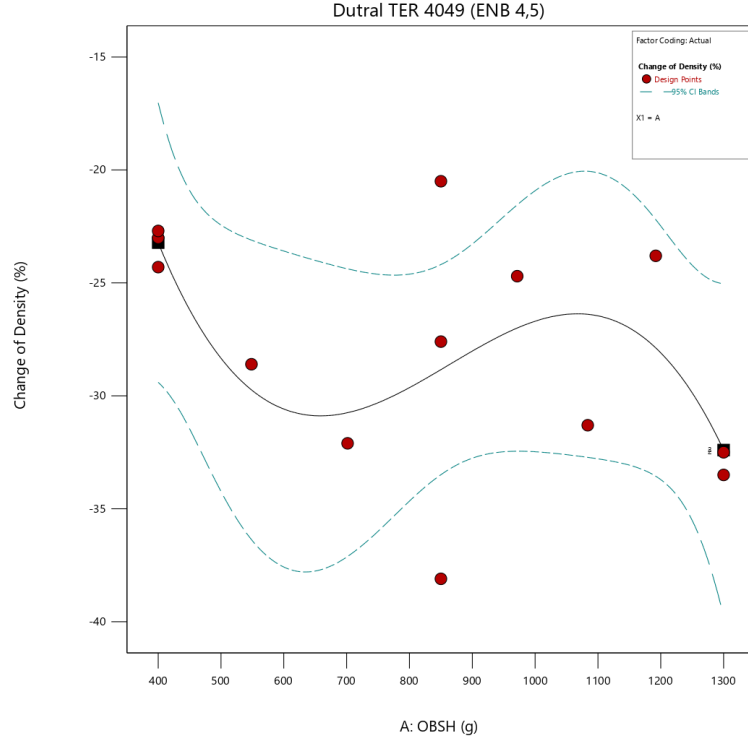
Şekil 4. 24. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun Karışımlarının hacim değişimi analizlerinin karşılaştırılması

#### 4.7. Yoğunluk Değişimi (Change of density) Analizi

Vulkanizasyon sonrası yoğunluk değişimi, yoğunluk ölçme aleti yardımıyla belirlenmiştir.

##### 4.7.1. Dutral TER 4049

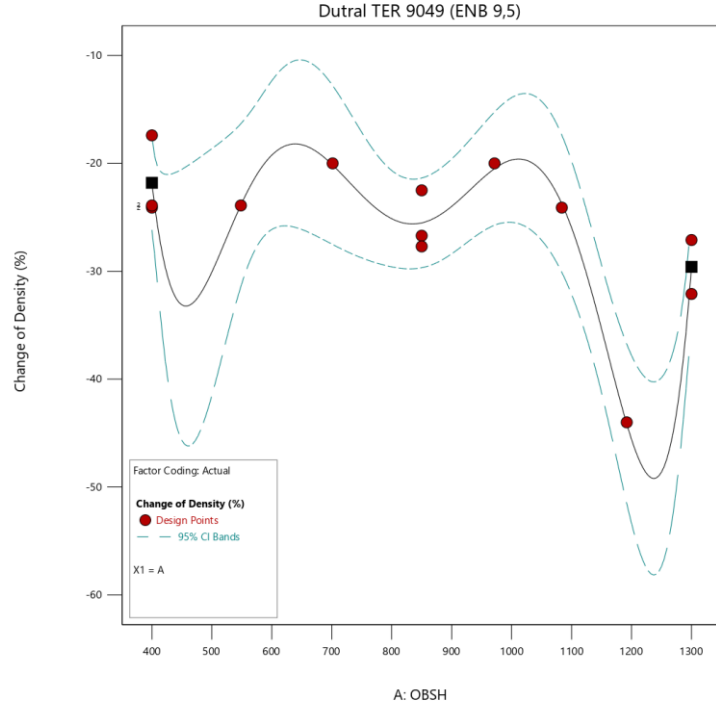
Şekil 4.25'te düşük ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle yoğunluk değişiminin belirlenen OBSH phr aralığında azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 25. Farklı OBSH Dutral TER 4049 (ENB 4.5) formülasyonun yoğunluk değişimi analizi

#### 4.7.2. Dutral TER 9049

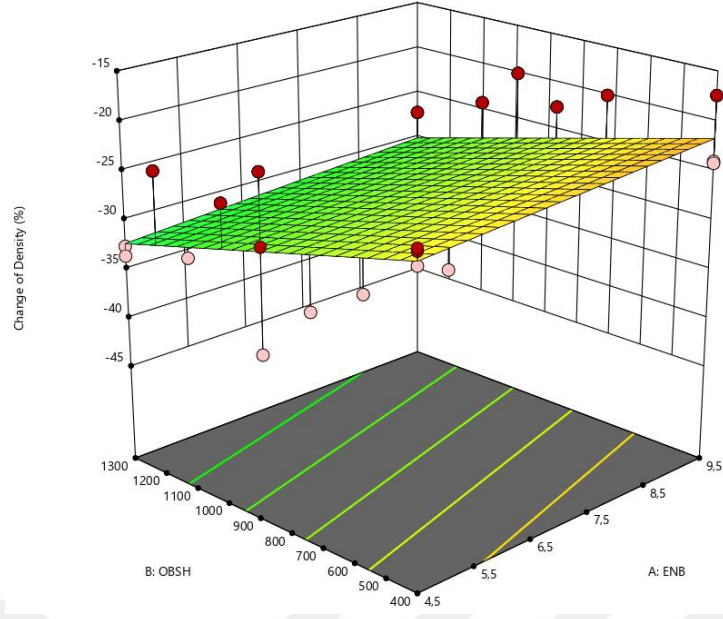
Şekil 4.26'da yüksek ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle yoğunluk değişiminin belirlenen OBSH phr aralığında azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 26. Farklı OBSH Dutral TER 9049 (ENB 9.5) formülasyonun yoğunluk değişimi analizi

#### 4.7.3. Dutral TER 4049 ve Dutral TER 9049 kauçuklarının yoğunluk değişimi analizlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.27’de farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr’lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle yoğunluk değişiminin ENB oranı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda OBSH miktarı arttıkça karışımın vulkanizasyon sonrasındaki yoğunluğu azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 27. Farklı OBSH phr'larında ve farklı ENB oralarında oluşturulan formülasyonun Karışımlarının yoğunluk değişimi analizlerinin karşılaştırılması

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şişirici ajan hem düşük hem de yüksek ENB'li kauçuğun bulunduğu karışım içerisinde vulkanizasyon sırasında oluşan hücrelerin artışı OBSH şişirici ajanının miktarına bağlı olarak artış gösterir. Artan bu hücreler birim alandaki madde miktarını katı madde yerine gaz olan azot gazı ile doldurur. Bu dolayı MH değerinin OBSH phr oranının artışına göre azaldığı gözlemlenmiştir. OBSH şişirici ajanı arttıkça karışım içinde oluşan hücre yapısı genişleyip, toplam hacmi arttırıp yoğunluğu azaltacağı için MH değerini azalttığı gözlemlenmiştir. Yine düşük ENB oranındaki EPDM kauçuk karışımı içeren karışım içerisinde şişirici ajanın oluşturacağı hücreler henüz hücre çekirdeği evresinde olduğu için kauçuğun reolojik özelliğine ML açısından etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Şişirici ajan OBSH kimyasalının vulkanizasyon kimyasına doğrudan etkisi olmadığı için T90 değerlerini etkilemediği gözlemlenmiştir. Yüksek ENB içeren kauçuk karışım formülasyonlarında OBSH şişirici ajanı arttıkça ML değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. T90 değeri aynı sebeple düzensiz kritik noktalar göstererek 10 sn'lik bir dalgalanmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bileşik analizde formülasyon içerisinde OBSH ve ENB oranı arttıkça MH değerinin azaldığı, EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça ML değerinin OBSH şişirici ajanının phr'ına bağlı olmaksızın azaldığı gözlemlenmiştir. OBSH'ın tek başına ML değerini hücreler oluşum aşamasında olduğu için etkilemediği gözlemlenmiştir. Yapılan bileşik analiz sonucu EPDM kauçuklarda ENB oranının artması sentetik kauçuğun doymamışlığının fazla olması nedeniyle TS2 değerini düşürdüğü, OBSH şişirici ajanı arttıkça TS2 değeri arttırdığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte T90 değerinin ENB oranı arttıkça yani doymamışlık arttıkça azaldığı ve erken pişme eğilimi gösterdiği, OBSH şişirici ajanı arttıkça T90 değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Çizelge 5.1'de EPDM kauçuklarda ENB oranı değişiminin analiz sonuçları gösterilmiştir.

Karışımların mekanik analizinde düşük ENB oranındaki EPDM kauçuğunun gerilme direnci OBSH miktarı arttıkça önce artıp sonra azaldığı gözlemlenmiştir. OBSH şişirici ajanının vulkanizasyon sırasında oluşan hücreler Şekil 1.3'te gösterildiği gibi önce beklenen hacme ulaşp daha sonra hücre birleşmeleri ve sonra hücre çökmeleri

gerçekleştiği için vulkanize kauçuğun gerilme direncini bu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5. 1. EPDM kauçuklarda ENB oranı değişiminin yapılan analizlerdeki sonuçları

ENB	MH	ML	TS2	TS90	Shore	Gerilme direnci (Mpa)	Kopma uzama (%)	Kalıcı ezilme (%)	Hacim değişimi (%)	Yoğunluk değişimi (%)	Viskozite
Artış	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+

(+) Artmıştır, (-) Azalmıştır, (+ -) Önce artmış sonra azalmıştır, (0) Etki etmemiştir.

Kopma uzama yüzdesi ise belirlenen OBSH phr'ları aralıklarında yapılan test göstergesi olarak hücre çökmesi sonrası yeniden artan bir direnç gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 5.2'de OBSH şişirici ajanının düşük ENB ve yüksek ENB oranlarında artmasının analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5. 2 OBSH şişirici ajanının düşük ENB ve yüksek ENB oranlarında artmasının yapılan analizlerdeki sonuçları

OBSH	MH	ML	TS2	TS90	Shore	Gerilme direnci (Mpa)	Kopma uzama (%)	Kalıcı ezilme (%)	Hacim değişimi (%)	Yoğunluk değişimi (%)	Viskozite
Düşük ENB'de artması	-	0	+	+	-	+-	+	+	+	-	+
Yüksek ENB'de artması	-	-	+	+	-	+-	+	+-	+	-	+

(+) artmıştır, (-) azalmıştır, (+ -) önce artmış sonra azalmıştır, (0) etki etmemiştir.

Yüksek ENB içeren EPDM kauçuklarda ise gerilme direnci aynı düşük ENB içeren karışımlardaki sonucu göstermiştir. Gerilme direnci EPDM kauçuklardaki ENB oranından bağımsız bir şekilde doğrudan OBSH kimyasalına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak yüksek ENB içeren EPDM kauçuklardan oluşturulan karışımlarda kopma uzama yüzdesi OBSH şişirici ajanı ile paralel olarak artış göstermiştir. Molekülün doymamışlığı arttığında vulkanizasyon sonrası kompleks yapının mekanik gücü belirgin artış göstermiştir. Belirtilen aralıklarda OBSH şişirici ajanının artırımı dahil bu mekanik kuvveti eksi yöne çevirmediği gözlemlenmiştir. EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça gerilme direncinin arttığı görülmüştür. OBSH phr'ının artması ENB oranlarındaki farkı etkilemediği gözlemlenmiştir.

EPDM kauçuklarda ENB oranı arttıkça kopma uzaması azalmış, ancak OBSH phr'ı arttıkça kopma uzaması arttığı gözlemlenmiştir.

Sertlik ise hem düşük hem de yüksek ENB oranındaki EPDM kauçuğunun OBSH şişirici ajanının phr'ının artması ile azalmıştır. Viskozimetrik analiz sonucunda EPDM kauçuğunun içerisindeki ENB oranı ve OBSH şişirici ajan miktarı arttıkça oluşturulan karışımın mooney viskozitesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kalıcı ezilme mekanik analizi sonucu düşük ENB oranı içeren EPDM kauçuğunda OBSH şişirici ajan phr'ın artması kalıcı ezilme dayanımını artırmıştır. OBSH şişirici ajanının oluşturduğu hücrelerdeki gaz basıncı kauçuğun kuvvet karşısında yeniden eski haline gelme özelliğini artırmıştır. Kalıcı ezilme EPDM kauçuklardaki ENB oranı ile OBSH şişirici ajanının phr miktarı arasında ters ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. ENB oranı arttıkça kalıcı ezilme azaldığı, ancak OBSH phr'ı arttıkça kalıcı ezilmenin arttığı gözlemlenmiştir.

Yapılan farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle ENB oranı arttıkça hacim değişimi azaldığı, buna rağmen OBSH miktarı arttıkça da hacim değişimi arttığı gözlemlenmiştir.

Düşük ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle yoğunluk değişiminin belirlenen OBSH phr aralığında azaldığı gözlemlenmiştir. Yüksek ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle yoğunluk değişimi belirlenen OBSH phr aralığında azaldığı görülmüştür. Farklı ENB oranlarındaki EPDM kauçuğunun farklı phr'lardaki OBSH şişirici ajanının etkisiyle ENB oranı arttıkça yoğunluk değişiminin arttığı, ancak OBSH miktarı arttıkça yoğunluk değişiminin azaldığı sonucuna varılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ariff, Z.M., Afolabi, L.O., Salmazo, L.O., Rodriguez-Perez, M.A., Effectiveness of microwave processing approach and green blowing agents usage in foaming natural rubber, *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 9929-9940, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.096>
- Chanda, M., *Introduction to Polymer Science and Chemistry; A Problem-Solving Approach*, 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton, 2013. <https://doi.org/10.1201/b14577>
- Dodiuk, H., Goodman, S.H., *Handbook of Thermoset Plastics*, 3rd Ed., 2014. ISBN:9781455731077
- Göpperl, L., Evaluation and synthesis of chemical blowing agents for acrylate-based 3D printer inks, Master Thesis, Universität Linz, 2018.
- Guneri, A., *Plastics, Rubber and Health*, Smithers Rapra Press, 2008. ISBN 10:184735081X / ISBN 13: 9781847350817
- Groch, P., Bihun-Kisiel, A., Piontek, A., Ochedzan-Siodłak, W., Structural and Thermal Properties of Ethylene-Norbornene Copolymers Obtained Using Vanadium Homogeneous and SIL Catalysts, *Polymers*, 12(11), 2433, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12112433>
- Kornberg, A., Biologic synthesis of deoxyribonucleic acid, *Science*, 131(3412), 1503-8, 1960. DOI: 10.1126/science.131.3412.1503
- Lewis, C., Rodlum, Y., Misaen, B., Changchum, S., Sims, G.L.A., Effect of Compound Formulation and Processing Conditions on Properties of Extruded EPDM and NR/EPDM Foams, *Cellular Polymers*, 22(1), 43-56, 2003. <https://doi.org/10.1177/026248930302200103>
- Nakajima, N., *The Science and Practice of Rubber Mixing*, Smithers Rapra Technology, 2000. ISBN-10: 1859573983 / ISBN-13: 978-1859573983
- Patil, A., Sandewicz, R.W., *Cosmetic Science and Polymer Chemistry: Perfect Together*, 2013. DOI: 10.1021/bk-2013-1148.ch002
- Pechurai, W., Muansupan, T., Seawlee, P., Effect of Foaming Temperature and Blowing Agent Content on Cure Characteristics, Mechanical and Morphological Properties of Natural Rubber Foams, *Advanced Materials*

- Research, 844, 454-457, 2013.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.844.454>
- Sang, J.S., Park, E.-Y., Lim, S.-W., Park, S., Oh, K.W., Performance of bio-ethylene propylene diene monomer (bio-EPDM) foam with mixed chemical and encapsulated blowing agents, *Fashion and Textiles* 6(21), 1-11, 2019.  
<https://doi.org/10.1186/s40691-019-0178-0>
- Sommer, J., *Troubleshooting Rubber Problems*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. ISBN 978-1-56990-553-1
- Travers, A., RNA polymerase specificity and the control of growth, *Nature* 263, 641–646 (1976). <https://doi.org/10.1038/263641a0>
- Wang, X., Feng, N., Chang, S., Effect of precured degrees on morphology, thermal, and mechanical properties of BR/SBR/NR foams, *Polymer Composites*, 34(6), 849-859, 2013. <https://doi.org/10.1002/pc.22489>
- Wu, S., He, L., Zhang, C., Gong, W., He, Y., Luo, Y., Visualization observation of cells growth in low-density polyethylene foaming processes, *Polymer Testing*, 63, 367-374, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.08.039>
- Vergnaud, J.-M., Rosca, I.-D., *Rubber curing and properties*, 1. Ed., CRC Press, Boca Raton, <https://doi.org/10.1201/9781420085235>
- Yi, H.L., Wei, T., Heng, L., Zheng, B.C., Effect of Blowing Agent and Polyethylene Glycol on Cellular Structure and Mechanical Properties of Chloroprene Rubber, *Applied Mechanics and Materials*, 217-219, 517-521, 2012.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.217-219.517>
- Yamsaengsung, W., Sombatsompop, N., Effect of chemical blowing agent on cell structure and mechanical properties of EPDM foam, and peel strength and thermal conductivity of wood/NR composite–EPDM foam laminates, *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 594-600, 2009.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.04.003>
- Yamsaengsung, Sombatsompop, N., Cellular Morphology, Peel Strength and Thermal Conductivity for Wood/NR and Expanded EPDM Laminates for Roofing Applications, *Advanced Materials Research*, 47-50, 181-184, 2008.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.47-50.181>

## ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Hakan ULUSOY  
2. Doğum Tarihi :  
3. Ünvanı : Kimya Mühendisi  
4. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2019

### 5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Kalite sorumlusu		2018
Hamurhane ve formülasyon sorumlusu		2019
Operasyon Mühendisi		2022

7. Yayınlar : Investigation of Rheological and Mechanical Properties of Rubbers Produced by Sulfur Vulcanization from EPDM Rubbers with Different Ethylene Ratios <https://doi.org/10.47495/okufbed.1036101>



OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŐMASI ORİJİNALLIK RAPORU

OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŐKANLIĐI'NA

Tarih: 27/01/2023

Tez BaŐlıĐı / Konusu: FARKLI ENB ORANLARI VE OBSH PHR'LARINDA EPDM KAUÇUĞUNUN REOLOJİK VE MEKANİK ANALİZİ

Yukarıda baŐlıĐı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b)  zet ve Abstract, c) Giriş, d) Ana bölümler ve e) Sonuç, f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 58 sayfalık kısmına iliŐkin, 27/01/2023 tarihinde Őahsım/tez danıŐmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %8'dir.

**Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)**

1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,  
2- Kaynakça hariç,  
3- Alıntılar dahil,  
4- 5 kelimedenden daha az  rtuŐme içeren metin kısımları hariç.

**Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)**

1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,  
2- Kaynakça hariç,  
3- Alıntılar hariç,  
4- 5 Kelimedenden daha az  rtuŐme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez  alıŐması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiŐ olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

**Adı Soyadı:** Hakan ULUSOY

**ÖĞrenci No:** 2011711101

**Anabilim Dalı:** Kimya Mühendisliği

**Programı:**

**Statüsü:**  Y.Lisans  Doktora

**DANIŞMAN ONAYI**

**RAPORU DÜZENLEYEN**

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

(Unvan, Ad Soyad, İmza)